

COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS CONSTRUCCIONES PREFABRICADAS, MODULARES E INDUSTRIALIZADAS DE METAL

EN COLABORACIÓN CON PROMETAL TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN S.L.



AUTOR: Abigail Gutiérrez Fidalgo

DNI: 71.450.811-T

REFERENCIA DEL TFG: estr-17

TUTOR: Santiago Muñíz Gómez

CURSO ACADÉMICO: 2015/2016

FECHA DE ENTREGA: 05/02/2015

RESUMEN

La siguiente investigación se centra en el estudio del comportamiento energético de las construcciones prefabricadas, modulares e industrializadas de metal. El trabajo se realizará en colaboración con una empresa coruñesa, Prometal Tecnología e Innovación S.L., quien nos facilitará prototipos reales con los que podremos trabajar. Nos centraremos en justificar el cumplimiento o no, de la normativa energética española y de los estándares de construcción pasiva, en concreto, el estándar Passivhaus. Para llevar a cabo esta investigación utilizaremos la herramienta unificada Lider-Calener (HULC), programa oficial del ministerio de fomento para la certificación energética en España. Realizaremos distintos análisis y modificaciones en nuestros modelos, enfocados a entender mejor su comportamiento térmico y encontrar soluciones eficientes que cumplan con los estándares de construcción pasiva. Este es el comienzo de una investigación mucho más amplia que pretende incorporar estos estándares como una parte más de las construcciones prefabricadas, modulares e industrializadas de metal.

PREFABRICACIÓN

INDUSTRIALIZACIÓN

PROTOTIPOS

DEMANDA ENERGÉTICA

PASSIVHAUS

A seguinte investigación céntrase no estudo do comportamento enerxético das construcións prefabricadas, modulares e industrializadas de metal. O traballo sera realizado en colaboración ca empresa coruñesa, Prometal Tecnología e Innovación S.L., quen nos facilitará prototipos reais cos cales podremos traballar. Centraremos en xustificar o cumprimento ou non, da normativa enerxética española e dos estándares de construción pasiva, en concreto, o estándar Passivhaus. Para levar a cabo esta investigación utilizaremos a ferramenta unificada Lider-Calener(HULC), programa oficial do ministerio de fomento para a certificación enerxética en España. Realizaremos distintos análises e modificacións nos nosos modelos, enfocados a entender mellor o seu comportamento térmico e atopar solucións eficientes que cumplan cos estándares de construción pasiva. Este é o comezo dunha investigación moito máis ampla que pretende incorporar estes estándares como unha parte máis das construcións prefabricadas, modulares e industrializadas de metal.

PREFABRICACIÓN

INDUSTRIALIZACIÓN

PROTOTIPOS

DEMANDA ENERXÉTICA

PASSIVHAUS

The following research focuses on the study of the energy performance of prefabricated, modular and industrialized metal constructions. Work will be performed with the collaboration of Prometal Tecnología e Innovación S.L., a company situated in La Coruña, which will provide us real prototypes with which we will be able to work. We'll be focusing on justify the compliance or not, of the Spanish energy regulation as well as the compliance of the passive construction standards, in particular, the Passivhaus standard. To conduct this research we will use the unified Lider-Calener (HULC) tool, an official program of the Ministry of Development in order to achieve the Spanish energy certification. We will perform several analysis and modifications in our patterns, aiming for a better insight towards his thermal behavior and to find efficient solutions that meet the standards of passive construction. This is the beginning of a much larger research that intends to incorporate these standards as an integrated part of the prefabricated, modular and industrialized metal constructions.

PREFABRICATION

INDUSTRIALIZATION

PROTOTYPES

ENERGY DEMAND

PASSIVHAUS

Comportamiento energético de las construcciones prefabricadas, modulares e industrializadas de metal en colaboración con Prometal Tecnología e Innovación S.L.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
- Objetivos y justificación.....	1
- La empresa.....	2
- Antecedentes.....	2
CONSTRUCCIÓN PASIVA.....	5
- El estándar Passivhaus.....	6
MODELOS DE ANÁLISIS.....	9
1.Modelo A(Pabellón para mariscadoras en San Xoán de Poio, Pontevedra).....	9
2.Modelo B (Edificación auxiliar en Area, Viveiro).....	15
3.Modelo C (Local vecinal).....	20
HERRAMIENTA UNIFICADA LIDE-CALENER (HULC).....	24
1. Cálculo del Modelo A.....	24
2. Cálculo del modelo B.....	32
3. Cálculo del modelo C.....	39
CONCLUSIONES.....	47
- Líneas de futuro desarrollo.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	51
RELACIÓN DE IMÁGENES.....	52

Comportamiento energético de las construcciones prefabricadas, modulares e industrializadas de metal en colaboración con Prometal Tecnología e Innovación S.L.

INTRODUCCIÓN

Objetivos y justificación

El presente documento pretende ser el resultado de una investigación sobre construcciones prefabricadas, modulares e industrializadas de metal y su comportamiento energético. Se realizará en colaboración con **Prometal Tecnología e Innovación S.L.**, empresa coruñesa con 10 años de experiencia en el sector de la arquitectura industrial, especializada en estructuras metálicas. Se decide realizar este estudio por el auge que están teniendo estas construcciones en el mercado actual, ya que cada vez más, están suponiendo una tendencia constructiva que pretenden dar solución a problemas reales de la arquitectura, como los largos periodos de construcción o los riesgos que conllevan las obras. Así mismo responden a la necesidad de viviendas económicas en el contexto actual de crisis que afecta principalmente al sector de la construcción. Del mismo modo quieren afianzarse como un sistema reutilizable, transportable y reubicable que permita ser utilizado casi en cualquier parte huyendo de la construcción fija tradicional y siguiendo los principios de racionalización y estandarización.

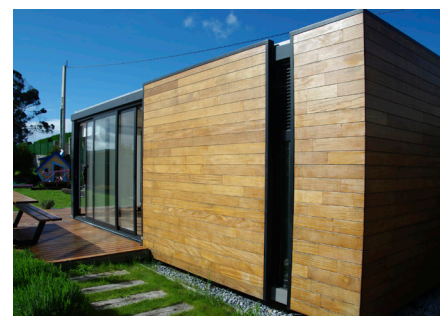
Estas edificaciones se han ido afianzando como un sistema constructivo tan fiable y efectivo como la arquitectura tradicional, por lo que resulta inevitable que tengan que cumplir como mínimo con las mismas exigencias que ésta. En este sentido podríamos estudiar multitud de aspectos que participan en la materialización de estas construcciones, desde la estructura y el montaje hasta el transporte y el presupuesto, pero resulta interesante centrarse en el tema de la eficiencia energética ya que es un aspecto que está tomando cada vez más relevancia y poco a poco está formando parte de todas las normativas de edificación de cada país.

Se trata de un tema relativamente reciente, ya que no es hasta los años 90 con el protocolo de Kyoto⁽¹⁾ cuando se empieza a tener en cuenta en el sector de la edificación, debido a esto, la arquitectura tradicional aún sigue buscando recursos eficientes que solucionen esta nueva problemática en la edificación, por lo que para no cometer los mismos errores del pasado, es necesario proponer soluciones que cumplan con los estándares de construcción pasiva en todos los sistemas que se vayan desarrollando, como es nuestro caso con las construcciones prefabricadas, industrializadas y modulares de metal.

Para llevarlo a cabo, con la información facilitada por la empresa, analizaremos prototipos construidos conforme a la normativa energética española (CTE DB-HE)⁽²⁾ y a los estándares de construcción pasiva, para poder entender mejor el comportamiento térmico de cada modelo.

No hay que olvidar que este trabajo sigue una línea de investigación muy amplia, que va mucho más allá del presente documento, se trata de un tema actual que aún se está desarrollando y por lo tanto todo este escrito es una pequeña parte de un tema mucho más amplio que será necesario seguir completando con futuros estudios.

Con este trabajo quiero dejar presente el papel que podemos aportar como arquitectos, que no solo se basa en el diseño arquitectónico, sino que parte del campo de la investigación para la mejora de soluciones, prototipos y sistemas que puedan llegar a ser viviendas, oficinas o cualquier otro tipo de uso.



¹Prototipo realizado por la empresa Prometal en 2012.

⁽¹⁾El protocolo de Kyoto es una cumbre que realizan las Naciones Unidas en 1997 contra el cambio climático para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero.

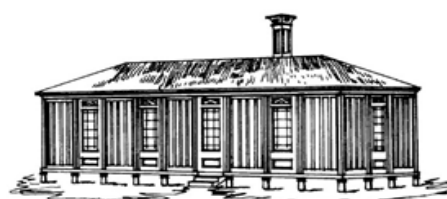
⁽²⁾El código técnico de la edificación (CTE) plantea un documento básico que pretende establecer reglas y procedimientos para cumplir con las exigencias de ahorro de energía (DB-HE).



²Nave de Prometal en el polígono industrial de As Pontes, Vilagarcía.



³Oficina técnica de Prometal en calle Orzán 206-208, A Coruña.



⁴Casa Manning Cottage portátil, diseñada en 1833 por el carpintero H. Manning.

⁽³⁾El passivhaus es un estándar de construcción pasiva nacido en Alemania en 1991.

⁽⁴⁾Las normas LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) es un sistema de certificación para edificios sostenibles que nació en 1998 desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (US Green Building Council).

⁽⁵⁾HULC (Herramienta Unificada Lider-Calener) es un programa informático desarrollado por el ministerio de Fomento para la certificación de edificios en España.

La empresa

Como ya dijimos, esta investigación se realiza en colaboración con la empresa **Prometal Tecnología e Innovación S.L.** especializada en estructuras metálicas y productos de calderería desde el año 2005.

Dispone de una oficina técnica en La Coruña desde la que da atención logística y gestiona los proyectos, para que de esta forma sea más accesible a sus clientes. Además cuenta con almacenes y talleres en el polígono industrial de As Pontes a pocos kilómetros de la ciudad, donde desarrolla la fabricación de sus sistemas.

A lo largo de sus diez años de historia ha desarrollado trabajos muy diversos en acero, acero inoxidable y aluminio, pudiendo presumir de clientes tan influyentes como Repsol o Dragados, desde grandes polideportivos que suponen estructuras metálicas complejas, hasta delicadas marquesinas en las que se tiene especial cuidado en el diseño arquitectónico, lo que aporta a la empresa no solo relevancia a nivel nacional sino también en el mercado internacional.

Su afán por mejorar y seguir progresando, ha hecho que desde hace pocos años estén desarrollando nuevos sistemas constructivos prefabricados, industrializados y modulares de metal que además pretenden ser ecológicos y respetuosos con el medio ambiente, de forma que puedan cumplir con los estándares de construcción pasiva como el Passivhaus⁽³⁾ y las normas LEED⁽⁴⁾, para ser competentes en el mercado internacional. Apenas han realizado cuatro o cinco prototipos experimentales que no han sido comprobados, por lo que en colaboración con la Universidad de La Coruña se pretende continuar esta investigación y para ello se analizarán tres de los prototipos realizados por la empresa, mediante la herramienta informática HULC⁽⁵⁾ con el fin de sacar conclusiones para poder alcanzar el estándar de construcción pasiva que buscamos.

Antecedentes

Hasta no hace mucho tiempo existía la creencia de que las construcciones prefabricadas de metal eran poco más que contenedores metálicos, pero en los últimos años se está desarrollando una nueva arquitectura modular que consigue conciliar buenos diseños arquitectónicos y funcionales con la facilidad, versatilidad y rapidez de los sistemas industrializados y prefabricados. Busca mantener la calidad arquitectónica de las construcciones tradicionales con todas las ventajas que este tipo de sistemas puede aportar.

Aunque pensemos que estas construcciones nacieron ayer, lo cierto es que ya en la época de la Revolución Industrial aparecen para dar respuesta a la demanda de vivienda. Antes de la revolución industrial esto era impensable pero gracias a la sofisticación de la maquinaria será posible mejorar los elementos producidos.

La primera casa prefabricada conocida aparece en Inglaterra en 1833, la casa Manning Cottage portátil, diseñada por el carpintero H. Manning para su hijo, uno de los muchos europeos que tuvieron que irse a las colonias de Australia,

que pretendía ser una solución económica, transportable y de fácil montaje realizada en madera.

A comienzos del siglo XX el catálogo de Sears Roebuck and Co estaba en todos los hogares americanos, en él podías encontrar de todo, desde calcetines hasta coches y es en 1908 cuando aparecen una serie de viviendas modulares con múltiples posibilidades para que cada uno pudiera encargar una vivienda a su gusto y sin salir de casa. Una vez pedida llegaba un kit con 30.000 piezas y un riguroso manual de instrucciones para que tú mismo pudieras ponerte manos a la obra y construirla.

Pocos años después grandes arquitectos se sumaron al diseño de estas casas prefabricadas, como es el caso de Frank Lloyd Wright que fue el primer arquitecto reconocido en hacerlo. Durante los años 1911-1917 trabajó en el desarrollo de un sistema denominado *The American System-built Houses* para la firma Richard Company con el que pretendía diseñar viviendas asequibles que pudieran estandarizarse. Realmente no eran construcciones prefabricadas ya que gran parte de la vivienda se realizaba en obra pero todas ellas contaban con el sello distintivo que caracterizaba la arquitectura de Wright, nada que ver con las casas que aparecían en el catálogo de Sears Roebuck and Co.



⁵Catálogo de Sears Roebuck and Co del año 1927.



⁶Tres de las casas diseñadas por Wright con el sistema *The American System-built Houses* ubicadas en el distrito de Burnham.



⁷Casa prefabricada número 16 diseñada por Walter Gropius en 1927.

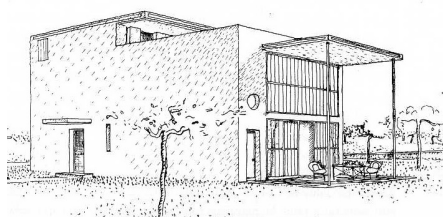


⁸Casa prefabricada número 17 diseñada por Walter Gropius en 1927.

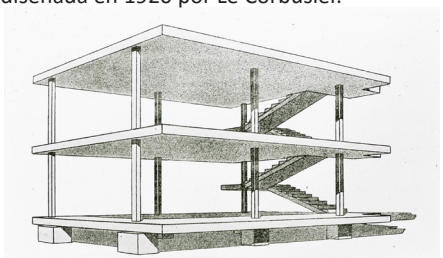
Del mismo modo en los años 20 Walter Gropius decide dedicar su esfuerzo en la construcción de viviendas prefabricadas para Alemania, debido a la gran necesidad de vivienda barata en un corto periodo de tiempo que trajo consigo la 1ª Guerra Mundial.

Defendía la racionalidad de la industria de la construcción para construir de forma más rápida y económica. De esta forma las casas de Gropius, reflejaban un estilo moderno, cercano al Art Decó que fusionaba el arte con el diseño industrial, principios que defendía la Bauhaus⁽⁶⁾ de la cual él fue director entre los años 1919 y 1928. Ejemplo de ello fueron las dos casas completamente prefabricadas (la número 16 y 17) que diseñó para exposición de la vivienda en 1927 en Stuttgart, actualmente desaparecidas.

⁽⁶⁾La Bauhaus fue una escuela de arte, diseño, arquitectura y artesanía fundada en 1919 por Walter Gropius en Weimar (Alemania), que sentó las bases de lo que hoy conocemos como el diseño industrial.

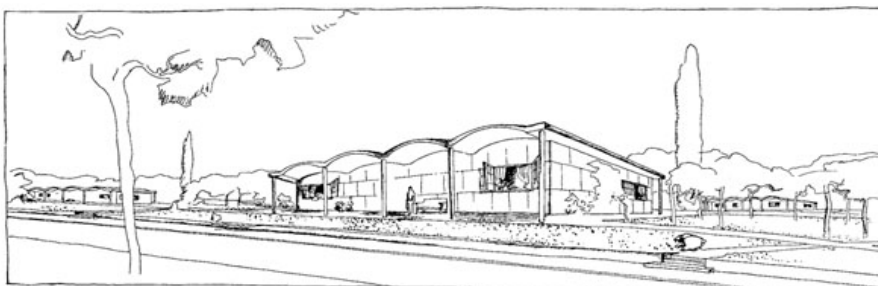


⁹Segunda propuesta de la Maison Citrohan, diseñada en 1920 por Le Corbusier.



¹⁰Casa Domino, diseñada entre 1914-1915 por Le Corbusier.

Papel importante es el que juega Le Corbusier, que por aquellos años, deslumbrado por el trabajo de Henry Ford, desarrolla un concepto para lo que él entendía que sería la nueva casa, lo llama “la máquina de habitar”, adaptándola a la revolución industrial que apareció a principios de siglo. Esta teoría surge de fascinación que tenía por las nuevas máquinas: especialmente los coches y aviones, y por su sistema de fabricación en serie. Esto supondría el fin de la artesanía dando paso a la racionalización, prefabricación e industrialización. Siguiendo este concepto, la casa sería entendida como una máquina, fabricada mediante el ensamblaje de piezas industrializadas como los coches o los aviones. De esta forma, Le Corbusier pretendía conseguir modelos racionales y funcionales que se pudieran fabricar en serie de forma económica y que hicieran posibles la industrialización de la arquitectura. Siguiendo este concepto, diseña varios prototipos (casa Citrohan, casa Domino y casa Monol) basados en la fabricación en serie de estructuras de hormigón que se puedan realizar en pocas semanas.



¹¹Casa Monol, diseñada en 1919 por Le Corbusier.

Pese a que aparecieron como construcciones de emergencia, este tipo de arquitectura cada vez ha ido tomando más fuerza y relevancia hasta el punto de que hoy en día generan gran demanda por sus ventajas, habiendo un gran mercado de construcciones prefabricadas con múltiples posibilidades, desde edificaciones auxiliares hasta viviendas de lujo o grandes edificios de servicio. Para llegar al punto en el que nos encontramos se ha investigado durante muchos años con diversos materiales y con todas sus posibilidades, pero aún queda mucho camino por delante. Hoy en día podemos encontrar construcciones modulares, prefabricadas e industrializadas tanto de madera, como de hormigón y de metal, cada una de ellas con multitud de posibilidades y ventajas.

En este caso se trata de estudiar el comportamiento de los sistemas metálicos, concretamente de acero, que a diferencia de lo que generalmente se cree, es un material ecológico y respetuoso con el medio ambiente por su capacidad de reutilización, lo que lo convierte en un elemento completamente reciclable, sin olvidarnos de sus características de alta resistencia, y durabilidad, así como la versatilidad y rapidez de montaje.

Por lo tanto, parece interesante justificar que este tipo de sistemas puede cumplir con los estándares de construcción pasiva que cada vez más se están promoviendo y fomentando. Es en este punto donde comienza este trabajo de investigación.

CONSTRUCCIÓN PASIVA

La eficiencia energética es un concepto que apareció a finales del siglo XX y que tiene su origen en la crisis energética de los años 60-70, provocada por el encarecimiento del petróleo. Hasta ese momento las estrategias energéticas de mercado se basaban en la obtención de energías baratas y en cantidades abundantes. Además la Comunidad Científica se ve alarmada por cambios en el medio ambiente producidos por las emisiones de CO₂ a la atmósfera derivadas de la acción humana, gases que provocan el efecto invernadero y el cambio climático.

Entre los años 1973 y 1979 se impulsan políticas que apoyaban modelos de eficiencia energética, fomentadas principalmente por la crisis económica provocada por el encarecimiento del petróleo, además de por miedo a estos efectos negativos producidos por los gases de efecto invernadero. De esta forma se pretendían aprovechar las energías renovables para conseguir soluciones sostenibles que frenaran esta situación.

En estos años la Comisión, el Consejo y el Parlamento de la Unión Europea se reúnen para conseguir acuerdos comunes orientados a alcanzar objetivos de mejora energética. De esta forma se busca seguir un camino que queda reflejado en la Resolución del **Consejo de 17 de Diciembre de 1974**, que plantea unos objetivos claros⁽⁷⁾.

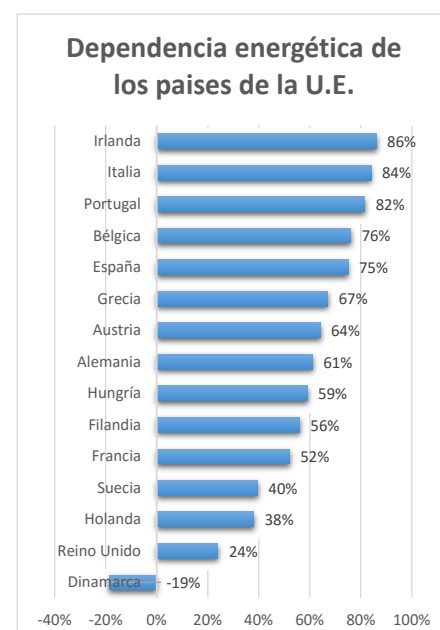
Es en este momento donde por primera vez queda constancia de unas intenciones comunitarias para los países miembros de la Unión Europea. Del mismo modo se fomenta la investigación y los programas a favor del desarrollo de fuentes alternativas de energías. Las restricciones del petróleo siguen aunque se promueve el consumo de combustibles sólidos y del gas natural como fuentes de abastecimiento fiables y estables.

A pesar de estos esfuerzos por controlar el nocivo efecto invernadero y de la reciente tendencia por soluciones sostenibles, se hace necesario llegar a un compromiso por parte de todos los países miembros de la Unión para conseguir unas reducciones de emisión del CO₂ a finales de los 80 y principio de los 90.

Por lo tanto en la **Directiva 93/76/CEE**, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética (SAVE) queda en evidencia la necesidad de reducir las emisiones de dióxido de carbono referentes al sector de la vivienda y los servicios, ya que supone el 40% de las energías consumidas en la Unión Europea y el pronóstico es que seguirá creciendo.

En este sentido tiene especial interés el control del consumo de electricidad, calefacción y agua caliente sanitaria que constituyen el 80% del total de las viviendas, a través de soluciones constructivas. Además plantea medidas para su control⁽⁸⁾. Entonces es en 1993 cuando aparece el concepto actual de certificación energética, así como las iniciativas de construcción pasiva.

En paralelo a todas estas propuestas de la Unión Europea, se desarrollan planteamientos similares en el resto del mundo a fin de conseguir estrategias globales a nivel mundial, tanto es así que las Naciones Unidas deciden hacer una cumbre contra el cambio climático en el año 1997 conocida con el nombre del Protocolo de Kyoto, un acuerdo internacional con el objeto de reducir considerablemente las emisiones de los gases de efecto invernadero y disminuir la dependencia de los materiales fósiles (siendo España un país muy dependiente ya que importa el 75% de la energía consumida).



¹²Gráfico de dependencia energética de los países de la Unión Europea en el año 2015. Elaboración propia.

⁽⁷⁾La Resolución del Consejo del 17 de Diciembre de 1974 tiene como objetivos: *“la disminución de la tasa de crecimiento del consumo interior de energía por medidas de uso racional y de ahorro de energía, sin que éstas comprometan los objetivos de desarrollo económico y social”*.

⁽⁸⁾ *“Los Estados miembros establecerán y aplicarán programas relativos a la certificación energética de los edificios. La certificación energética de los edificios, que consiste en la descripción de sus características energéticas, deberá aportar información a los interesados en utilizar un edificio, sobre la eficiencia energética del mismo”*

La Unión Europea como miembro activo de estas iniciativas se compromete mediante el **Plan de Acción para la Eficiencia Energética (COM(2006) 545)** a reducir hasta un 20% el consumo energético hasta 2020. Posteriormente, dado que las predicciones hacían ver que no cumpliríamos con los objetivos propuestos, es necesario realizar un **Plan de Eficiencia Energética (PEE) de la Comisión Europea (COM(2011) 109)** que, gracias a medidas exhaustivas, nos permita alcanzar el ahorro energético deseado y de esta forma conseguir edificios de consumo casi nulo para el 2020. Estas exigencias serán de obligado cumplimiento para edificios de nueva construcción públicos para el 31 de diciembre de 2018 y para edificios de uso particular para el 31 de diciembre de 2020.

Así pues la obligación del certificado energético tiene su origen en la **Directiva 2009/91/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, modificada posteriormente por la **Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010**.

Cada país tiene unas determinadas obligaciones conforme a variables económicas, que quedan reflejadas en normativas estatales, las cuales se revisan cada 3 años, para ser más estrictas y conseguir las exigencias planteadas para 2020.

Esta normativa europea llega a España en 2013 con el **Real Decreto 235/2013, de 5 de abril** por el que se fija una escala para saber el nivel de eficiencia energética de cada edificación, la cual califica a los edificios desde la letra A (más eficiente) hasta la letra G (menos eficiente). Todas estas exigencias quedan reflejadas en el Código Técnico de la Edificación, en el documento básico de ahorro de energía DB-HE. La realidad es que los edificios existentes en España están muy lejos de los compromisos de edificación de consumo casi nulo y por eso hay que apostar por estrategias de construcción pasiva tanto en obras nuevas como en la rehabilitación de edificios ya existentes.

Con todas estas preocupaciones aparecen estándares de construcción sostenible en todo el mundo que se basan principalmente en el aprovechamiento del calor proporcionado por la luz solar para mantener una temperatura adecuada en el interior del edificio, algunos de estos estándares son: las normas LEED ⁽⁹⁾ americanas, la Minergie ⁽¹⁰⁾ de Suiza, el llamado Zero Energy House ⁽¹¹⁾ acuñado en Dinamarca o el estándar Passivhaus ⁽¹²⁾ de Alemania.

Para realizar los análisis tomaremos como referencia el estándar Passivhaus ya que es el más extendido por Europa, así como la normativa española ⁽¹³⁾.

Estandar Passivhaus

Este modelo de construcción sostenible nace en Alemania a finales de los años 80 y como hemos dicho anteriormente, se basa en aprovechar al máximo la energía solar para conseguir un confort térmico en el interior del edificio. Este estándar no implica un tipo de materiales determinados sino estrategias pasivas en el diseño, como la correcta orientación de las ventanas para beneficiarse de la luz solar, un buen factor de forma que permita reducir la envolvente etc. Aunque nació en un clima mucho más frío que el que disfrutamos en nuestro país se ha demostrado que este tipo de edificios funcionan perfectamente en climas mediterráneos, que no solo necesitan protegerse del frío sino que

⁽⁹⁾Las normas LEED(**Leadership in Energy & Environmental Design**) es un sistema de certificación para edificios sostenibles que nació en 1998 desarrollado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (**US Green Building Council**).

⁽¹⁰⁾El certificado Minergie fue creado en Suiza en 1994, es un sello que certifica la sostenibilidad de edificios nuevos y rehabilitados.

⁽¹¹⁾Se denomina Zero Energy House a aquellos edificios cuyo consumo anual sea cercano a 0.

⁽¹²⁾El passivhaus es un estándar de construcción pasiva nacido en Alemania en 1991.

⁽¹³⁾El código técnico de la edificación (CTE) plantea un documento básico (DB) que pretende establecer reglas y procedimientos para cumplir con las exigencias de ahorro de energía (HE).

además precisan refugiarse de las altas temperaturas en verano.

Para conseguir alcanzarlo, el estándar plantea 5 criterios imprescindibles:

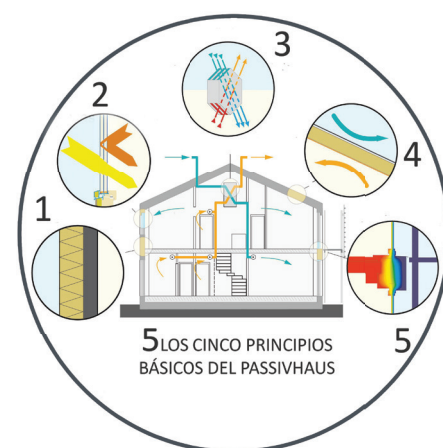
1. Un buen aislamiento térmico que evite las pérdidas de calor y no solo nos proteja en invierno, sino que nos sirva del mismo modo en verano.

2. Ventanas de alta calidad que tengan muy baja transmitancia térmica para reducir las fugas de calor ya que son los elementos más débiles de la envolvente.

3. Uso de ventilación mecánica para poder garantizar la renovación del aire al mismo tiempo que recuperamos el calor o el frío del aire.

4. Estanqueidad de la envolvente, sellando todas las uniones de los materiales evitando cualquier pérdida de calor o frío.

5. Reducción al máximo de los puentes térmicos mediante una envolvente continua del aislamiento.



¹³Imagen de los 5 principios básicos del passivhaus realizado por el Passivhaus Institut .

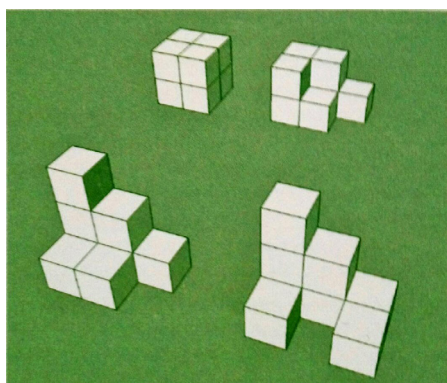
Para entender en que se basa el estándar passivhaus nos centraremos en varios aspectos que afectan al comportamiento térmico del edificio, de esta forma podremos cuantificar de forma objetiva criterios de diseño que nos permitan conseguir un sistema constructivo sostenible.

Orientación

Según el estándar de construcción pasiva la orientación principal del edificio debería de ser la sur, para aprovechar lo máximo posible la radiación solar, tanto es así que el ideal sería una planta rectangular alargada con su lado más largo orientado al sur. Ciertamente es también que este aspecto es más importante en los climas cálidos donde la radiación solar es mayor y que en zonas urbanas densas no tiene apenas relevancia debido a las sombras generadas por los edificios colindantes. Además este requisito no siempre es posible conseguirlo debido a las condiciones del lugar y por lo tanto tendremos que recurrir a otras estrategias para aprovechar la energía solar.

Huecos

Según la construcción pasiva los grandes huecos deben estar orientados al sur, colocar huecos pequeños en las fachadas este y oeste y evitarlos en la orientación norte por tener un balance energético negativo (el aporte calorífico es pequeño y las pérdidas por transmitancia demasiadas). El Passivhaus Institut ha definido unos criterios estrictos para las ventanas, ya que son los elementos más débiles de la envolvente y por tanto su transmitancia térmica no debe superar los $0.8\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Además de todo esto es importante controlar la radiación solar colocando protecciones solares que eviten un excesivo calentamiento del interior en las estaciones cálidas y que al mismo tiempo permita que el sol caliente el edificio en la estación fría, de esta forma conseguiremos reducir la demanda de calefacción y refrigeración de forma natural. Dada su complejidad es necesario el uso de programas de cálculo energético para verificar el buen funcionamiento de dichas protecciones.



¹⁴Ejemplo de compacidades variables con el mismo volumen interior, imagen sacada del libro de Micheel Wassouf: “De la casa pasiva al estandar Passivhaus”.

Envolvente

La envolvente queda definida por los cerramientos de fachada, la cubierta y el suelo. El estándar passivhaus no define unos espesores determinados de aislamientos para los cerramientos, sino que plantea según el tipo de clima en el que nos encontremos, unas transmitancias térmicas determinadas; en climas cálidos $0,15-0,45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y en climas centroeuropeos $0,1-0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, que equivalen a grosores de aislamiento de entre 5-25 cm y 25-40cm respectivamente. Además si queremos conseguir edificios sostenibles se debe fomentar el uso de materiales ecológicos respetuosos con el medio ambiente, aunque en ciertos momentos se contradiga con el criterio de construcción económica que también persigue el estándar, generalmente los constructores sensibilizados con este tipo de construcción dan prioridad a los materiales sostenibles.

Puentes térmicos

Se definen como puntos de debilidad en la envolvente del edificio, bien por un cambio de material, de geometría o de diseño constructivo. Tienen gran relevancia en edificios passivhaus ya que son sitios en los que hay grandes pérdidas energéticas, por lo que, como ya hemos comentado, es necesario evitarlos desde el momento del diseño arquitectónico. Una de las principales estrategias se basa en conseguir una envolvente continua del aislamiento y si en algún punto esto no se pudiera cumplir, sería necesario recurrir a otros métodos. Aunque popularmente se cree que un excesivo aislamiento es perjudicial para la demanda de refrigeración del edificio en la estación cálida del año, lo cierto es que un buen diseño del aislamiento permite protegerse tanto del frío como del calor y por esto es preciso fomentar este criterio.

Compacidad

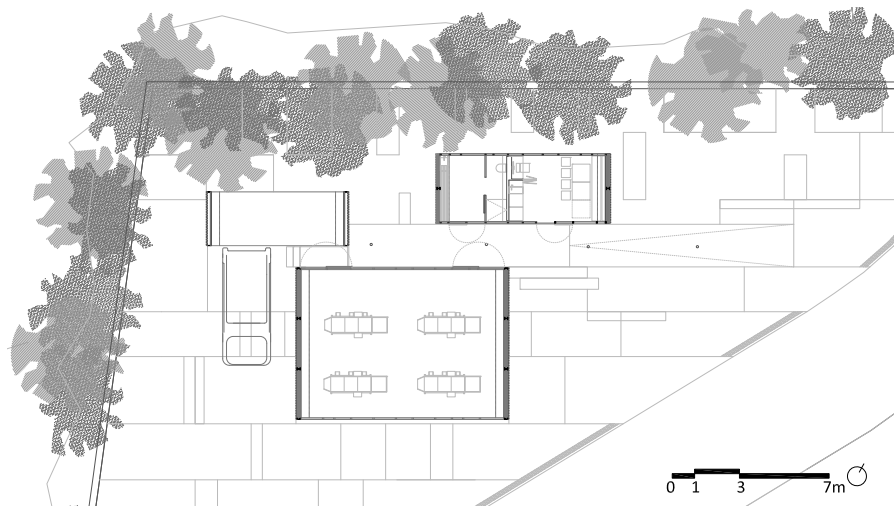
Según dice Micheel Wassouf en su libro “de la casa pasiva al estándar Passivhaus”, “la compacidad se define como el cociente entre la superficie de la envolvente exterior entre el volumen que encierra”. En general las viviendas unifamiliares aisladas consiguen valores muy bajos de entre 0.6-1m y en cambio edificios más grandes suelen ser más compactos (0,2-0,5 m). Lo ideal para el comportamiento térmico sería conseguir edificios más compactos en climas moderadamente fríos para reducir las pérdidas que se puedan generar por la envolvente térmica y sin embargo en climas cálidos resulta interesante alcanzar niveles de compacidad bajos para permitir que se disipe más calor hacia el exterior y que las sombras proyectas del edificio sobre sí mismo ayuden al confort térmico interior. En cualquier caso no debe ser una exigencia que penalice la calidad arquitectónica.

MODELOS DE ANÁLISIS

Para este estudio se utilizarán prototipos reales construidos de la empresa Prometal. Hasta el momento la empresa sólo tiene construidos 5 prototipos, de los cuales 2 de ellos son el mismo modelo y uno se descarta por sus dimensiones. Antes de calcular los otros 3 restantes, analizaremos sus características. Los denominaremos A, B y C organizados atendiendo a su fecha de construcción.

1. Modelo A (Pabellón para mariscadoras en San Xoán de Poio, Pontevedra)

Construido en 2010 por el arquitecto José Manuel Bermúdez Graíño pretendía ser una solución para las mariscadoras que trabajaban en el concello de Poio a la intemperie, resguardadas únicamente por unos galpones de madera sin acondicionar. Esta fue una de las primeras construcciones prefabricadas, industrializadas y modulares de metal que realizó la empresa. Debido al uso del edificio, se excluye del ámbito de aplicación de la normativa⁽¹⁴⁾, no obstante consideramos su aplicación con el fin de poder analizarlo y sacar conclusiones para otros usos.



¹⁷Plano de situación

La construcción consta de tres módulos independientes unidos por una pasarela de metal, cada uno de ellos con una función distinta; un módulo de vestuarios y aseos en el que las mariscadoras puedan cambiarse y disponer de agua caliente sanitaria, así como una zona de descanso en el que las trabajadoras se pueden relajar a cubierto, un módulo de trabajo donde puedan desempeñar sus labores de una forma más confortable con todos los equipos necesarios y por último un módulo de acceso y carga exterior para camiones. Según el CTE está localizado en un clima C1⁽¹⁵⁾ con una altitud de aproximadamente 20 metros, muy cercano al mar.

Su orientación principal es la sureste y aunque no es la situación ideal para la arquitectura pasiva, se trata de una disposición bastante favorable en este sentido, siendo el módulo de trabajo el que se encuentra por delante de los otros dos y el que genera sombras arrojadas a estos.



¹⁵Imagen general del Modelo A, realizada por Prometal en 2011.



¹⁶Imagen general del Modelo A, realizada por Prometal en 2011.

⁽¹⁴⁾En el CTE DB-HE0 y DB-HE1, en el primer apartado, ámbito de aplicación, se expone: "Serán excluidos del ámbito de aplicación edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres y procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales"

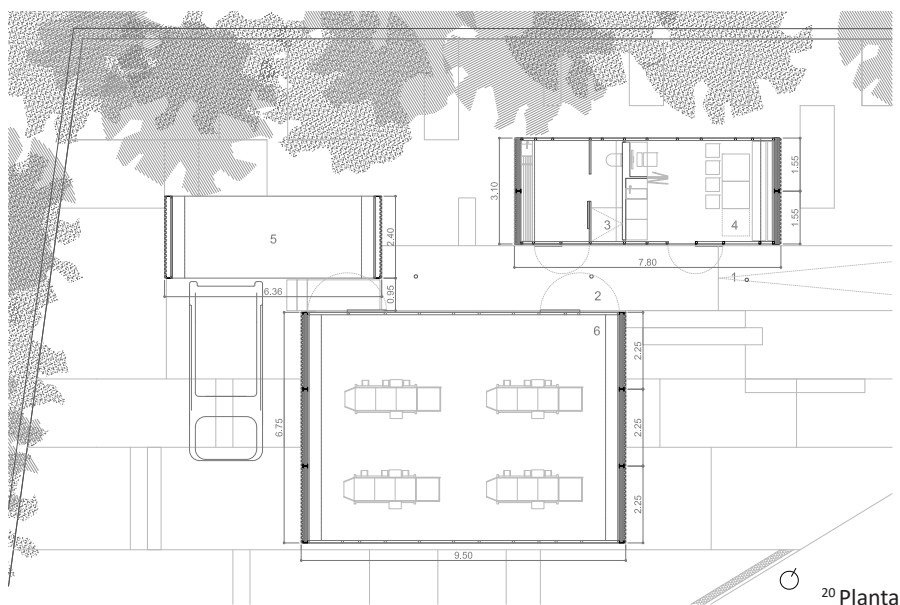
⁽¹⁵⁾El CTE DB-HE establece en el apéndice B, Tabla B.1. las zonas climáticas de la península ibérica según su ubicación y la altitud en la que se encuentra.



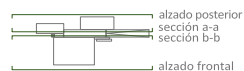
¹⁸Imagen general del Modelo A, realizada por Prometal en 2011.



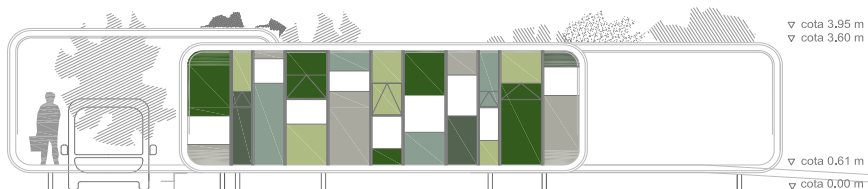
¹⁹Imagen interior del módulo de trabajo, realizada por Prometal en 2011



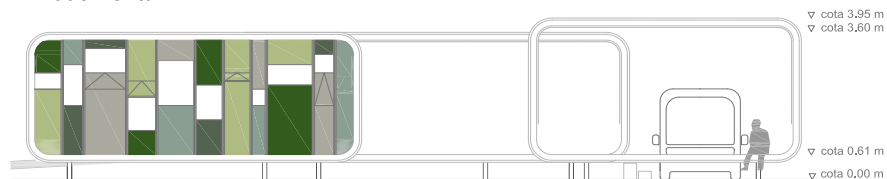
²⁰Planta



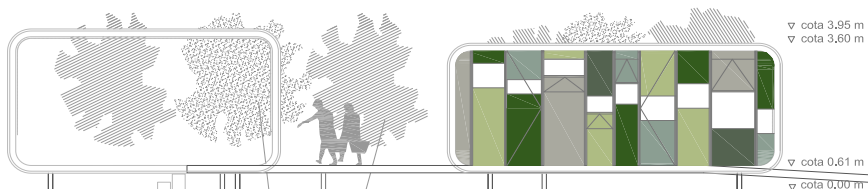
▽ cota 3,95 m
▽ cota 3,60 m



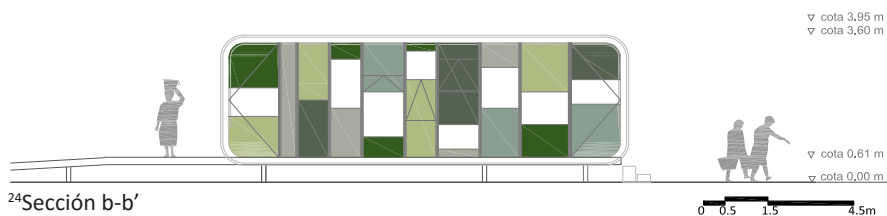
²¹Alzado frontal



²²Alzado posterior



²³Sección a-a'



²⁴Sección b-b'

PLANTA

- ¹ Rampa
- ² Corredor
- ³ Vestuarios y aseos
- ⁴ Módulo de descanso
- ⁵ Módulo de acceso y carga
- ⁶ Módulo de trabajo

Los huecos, de pequeñas dimensiones, aparecen del mismo modo tanto en su fachada sureste como en la noroeste, cada uno de ellos de tamaños diferentes y a distintas alturas. Son ventanas convencionales de doble vidrio con cámara de aire y rotura de puente térmico simple con una transmitancia térmica de $2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, por lo tanto en este punto estaríamos incumpliendo los criterios de construcción pasiva, que como recordamos nos decía que no deberían superar los $0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Sus fachadas laterales orientadas al noreste y al suroeste son totalmente opacas.

Cada uno de los módulos se componen de una estructura prefabricada, modular e industrializada de metal de diferentes dimensiones a los que se le añade una envolvente que queda definida por los siguientes elementos:

- Fachadas laterales: se compone de una subestructura de 3 paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de $0,4 \text{ mm}$ de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm , con un trasdosado interior de 2 placas de cartón yeso de 12 mm de espesor y 40 mm de rana de roca y con un acabado exterior de chapa plegada de acero inoxidable de 8 mm de espesor. ($U=0,31 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

- Fachadas frontal y posterior: formadas por una chapa de aluminio interior de 1 mm de espesor con un núcleo de 8 cm de aislamiento de lana de roca y un acabado exterior de chapa de aluminio de colores verdes de 1 mm de espesor. ($U=0,47 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

En el módulo de carga no se utiliza aislamiento para las fachadas laterales, únicamente se compone de la estructura metálica con un acabado interior y exterior de chapa plegada de acero, ya que al no disponer de fachadas principales, el módulo es totalmente exterior.

- Cubierta: formada por una chapa plegada de 8 mm de espesor como acabado exterior, lana mineral de roca de 160 mm de espesor, un forjado ligero de chapa plegada de 5 cm de canto como acabado interior ($U=0,23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

- Suelo: constituido por una solera de 16 cm de canto de hormigón con áridos ligeros, apoyada en una chapa metálica plegada, con un acabado interior de pavimento continuo de caucho hidrófugo y antideslizante de 20 mm de espesor ($U=2,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$).

El suelo no está aislado ya que esta construcción se realizó como una solución urgente para el resguardo de las mariscadoras y no se creyó necesario aislar el suelo para conseguir el confort interior. Debido a esto la transmitancia es excesivamente alta y en caso de estar dentro del ámbito de aplicación no cumpliría con la actual normativa, ya que según el CTE para suelos en el clima C1 la transmitancia límite es de $0,50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

La construcción se encuentra separada del terreno unos 50 cm aproximadamente y aunque se ha comprobado que esto no tiene relevancia en cuanto al comportamiento térmico del edificio, sí que influye en la salubridad del interior, evitando humedades y favoreciendo la ventilación cruzada.

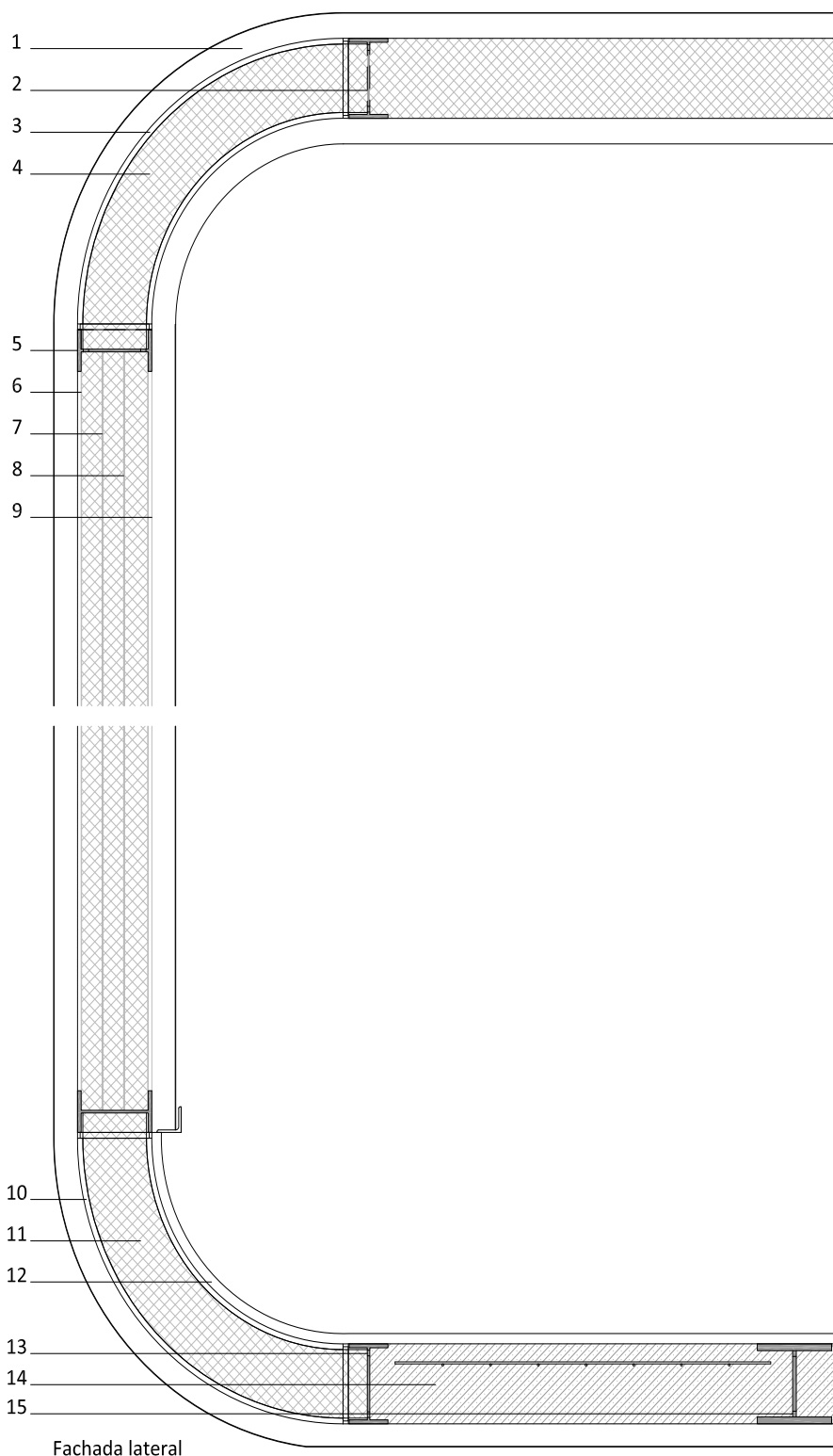
Por otro lado, a pesar de que la construcción dispone de un espesor de aproximadamente 14 cm de aislamiento, rellenando los espacios entre la estructura metálica, se producen puentes térmicos en los puntos en los que ésta está en contacto con el exterior, separada únicamente por el acabado, ya sea la chapa plegada de acero inoxidable o la chapa de aluminio verde.



²⁵Imagen del modelo A en construcción en el taller, realizada por Prometal en 2011

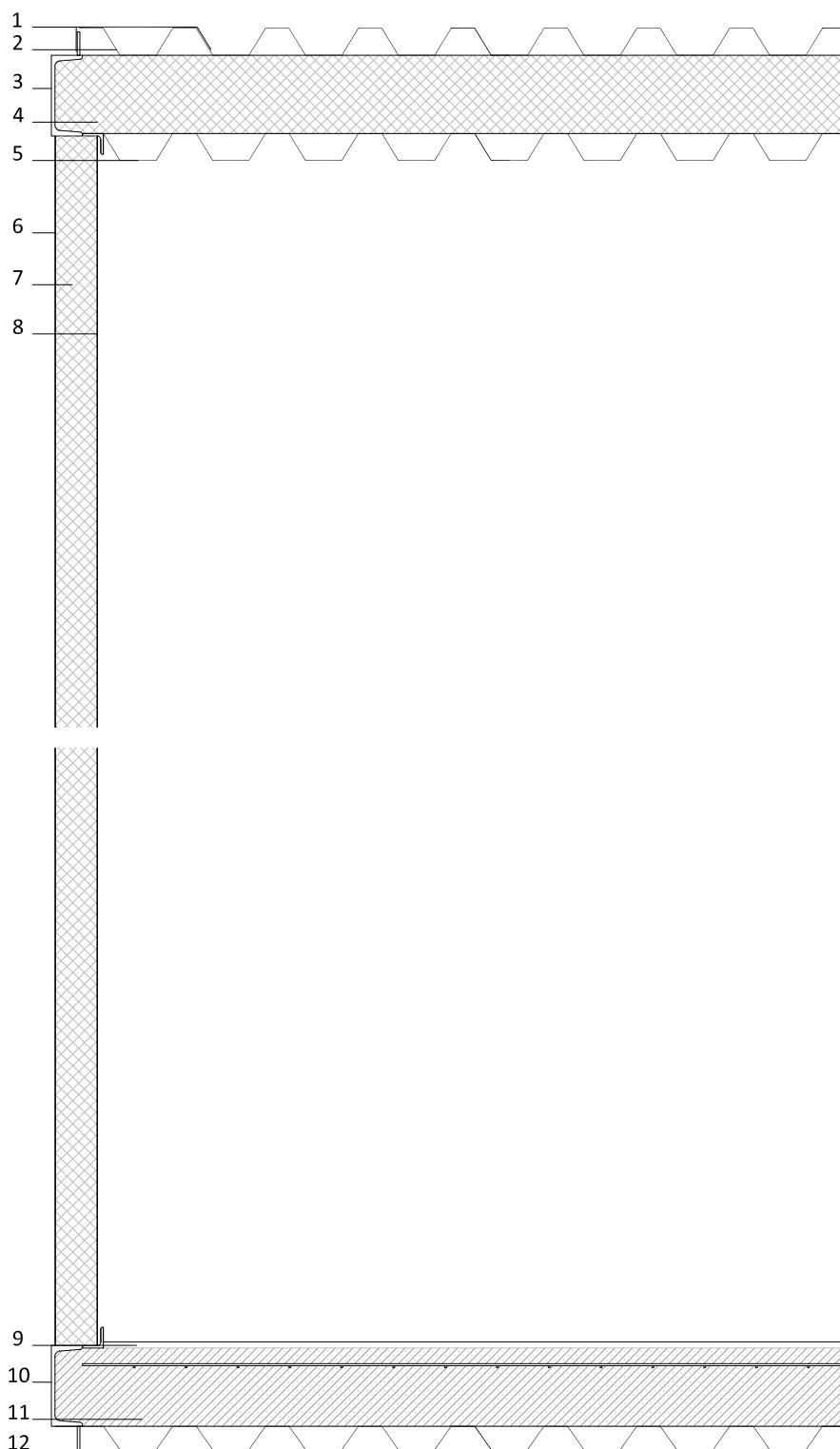


²⁶Imagen del modelo A en construcción en el taller, realizada por Prometal en 2011



27 FACHADA LATERAL

- ¹ Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto
- ² Viga de cubierta, perfil de acero laminado IPE 160
- ³ Perfil laminado de acero UPN 160
- ⁴ Aislamiento de lana de roca e=16cm
- ⁵ Perfil de acero laminado IPE 160
- ⁶ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ⁷ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ⁸ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ⁹ Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto
- ¹⁰ Perfil laminado de acero UPN 160
- ¹¹ Aislamiento de lana de roca e=16cm
- ¹² Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto
- ¹³ Viga de cubierta, perfil de acero laminado IPE 160
- ¹⁴ Solera de hormigón armado aligerado e=16cm
- ¹⁵ Perfil laminado de acero HEB 160



Fachada frontal

²⁸FACHADA FRONTAL

- ¹Placa de remate de acero inoxidable
- ² Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto
- ³Perfil laminado de acero UPN 160
- ⁴ Aislamiento de lana de roca e=16cm
- ⁵ Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto Perfil de acero laminado IPE 160
- ⁶ Chapa de aluminio de color verde e=8mm
- ⁷ Aislamiento de lana de roca e=8cm
- ⁸ Chapa de aluminio de color verde e=8mm
- ⁹ Pavimento de caucho hidrófugo y antideslizante e=2cm
- ¹⁰ Perfil laminado de acero UPN 160
- ¹¹ Solera de hormigón armado aligerado e=16cm
- ¹² Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto



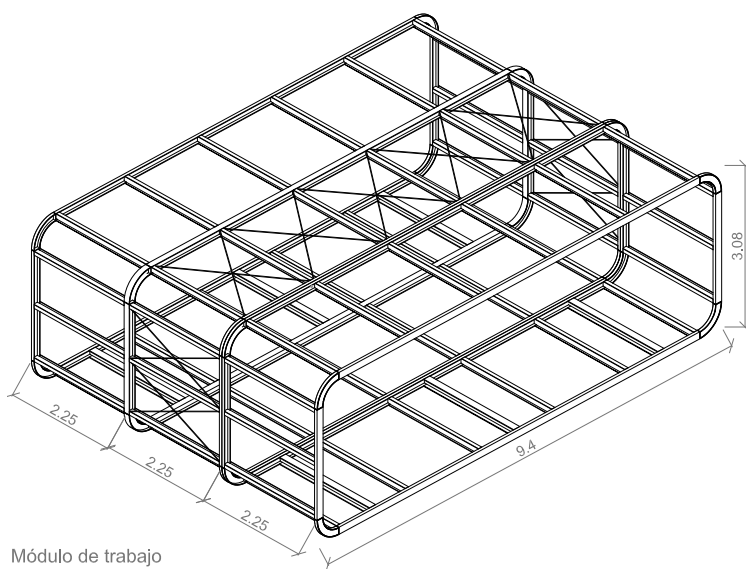
²⁹Imagen de la estructura del módulo de trabajo, realizada por Prometal en 2011



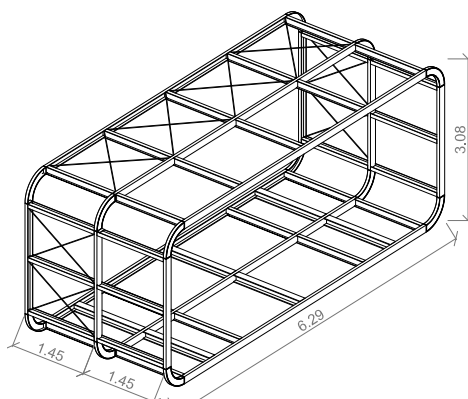
³⁰Imagen de la estructura del módulo de vestuarios, realizada por Prometal en 2011



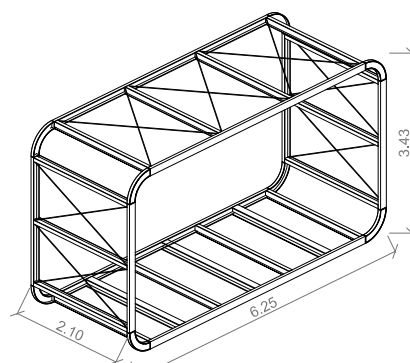
³¹Imagen de la estructura del módulo de carga, realizada por Prometal en 2011



Módulo de trabajo



Módulo de vestuarios



Módulo de carga

Calculamos la compacidad según nos dice la norma Passivhaus tanto de los módulos por separados como del conjunto, obviamente solo tendremos en cuenta el módulo de trabajo y el módulo de vestuarios ya que el módulo de carga, al ser completamente exterior, no tiene sentido estudiar su comportamiento energético. Por un lado, el módulo de trabajo tiene una compacidad de 1,35 m y el módulo de vestuarios 1,9 m, lo que suponen un valor de 1,49 m para el conjunto, dato de compacidad muy bajo, algo bastante lógico provocado por la división de los espacios, que supone una mayor superficie de envolvente, como ya dijimos anteriormente, estas compacidades tan bajas no son recomendables para climas centroeuropeos o moderadamente fríos porque suponen mayores pérdidas debido al tamaño de su envolvente, pero del mismo modo no debemos olvidar que este aspecto no debe condicionar el buen diseño arquitectónico del proyecto.

2. Modelo B (Edificación auxiliar en Area, Viveiro)

Se trata de una pequeña construcción que se realizó para dar un servicio auxiliar a la vivienda, ubicada en Area, en el municipio de Viveiro, Lugo y construido en 2012, consta de una sala de estar con cocina, un baño y un pequeño porche situada en el jardín de la vivienda. Se realizó otro prototipo igual a este para la parcela colindante, por lo que sólo nos centraremos en uno para el análisis. La zona climática en la que se encuentra es la D1 según el CTE y consideramos que su altitud es 0 por su proximidad al mar.

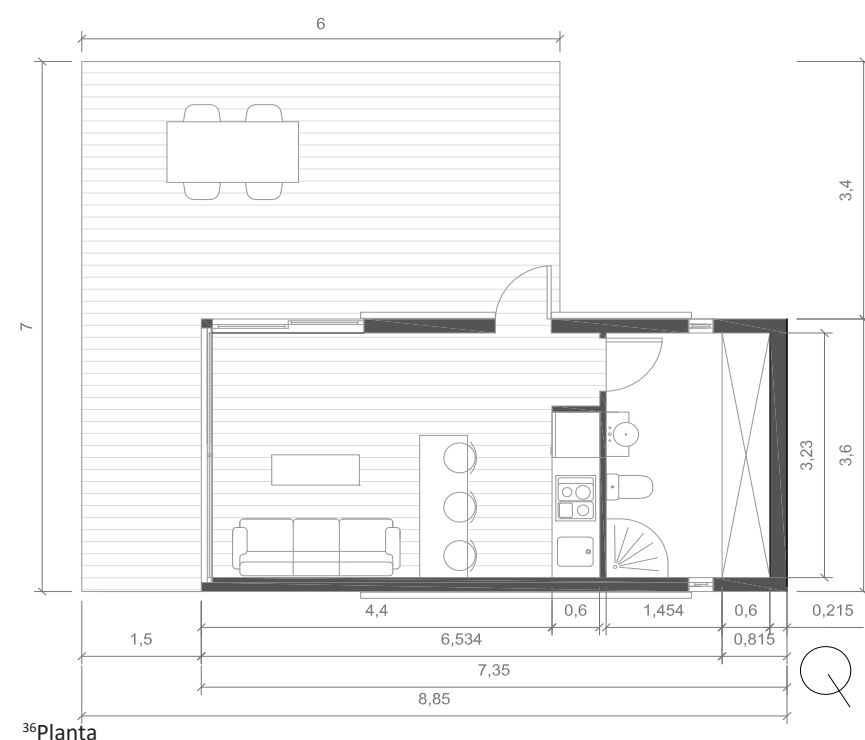
Su orientación principal es la suroeste y aunque no es la situación ideal según el passivhaus, se trata de una disposición bastante favorable en este sentido.



³³Imagen frontal del modelo B, realizada por Prometal en 2012



³⁴Imagen lateral del modelo B, realizada por Prometal en 2012

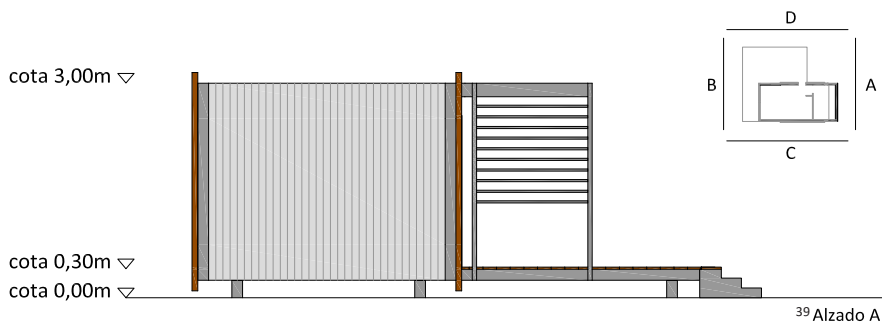




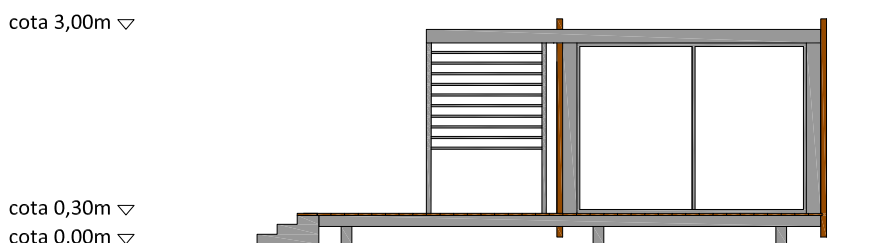
³⁷Imagen del modelo B terminado en taller, realizada por Prometal en 2012



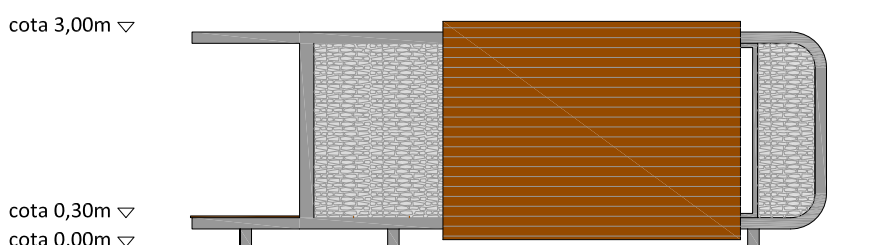
³⁸Imagen del modelo B terminado en taller, realizada por Prometal en 2012



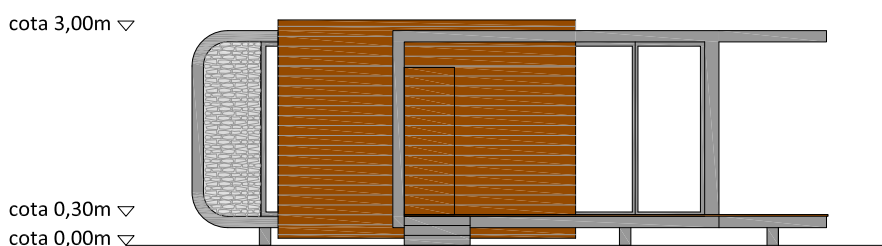
³⁹Alzado A



⁴⁰Alzado B



⁴¹Alzado C



⁴²Alzado D

Debido al tamaño del edificio, se excluye del ámbito de aplicación de la normativa⁽¹⁶⁾, no obstante consideramos su aplicación con el fin de poder analizarlo y sacar conclusiones para futuras construcciones.

Dispone de grandes huecos en sus fachadas sureste y noroeste, así como un pequeño hueco en su fachada noreste que sirve al baño. Son ventanas convencionales de doble vidrio con cámara de aire y rotura de puente térmico simple con una transmitancia térmica de $2,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, por lo tanto en este punto estaríamos incumpliendo los criterios de construcción pasiva, que como recordamos nos decía que no deberían superar los $0,8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Siguiendo con los criterios de construcción pasiva, dispone de una marquesina de madera para protegerse de la radiación solar.

⁽¹⁶⁾En el CTE DB-HE0 y DB-HE1, en el primer apartado, ámbito de aplicación, se expone: "Serán excluidos del ámbito de aplicación edificios aislados con una superficie útil total inferior a 50 m^2 "

Se basa en una estructura de metal a la que se le añade una envolvente que queda definida por los siguientes elementos:

- **Fachada:** se compone de una subestructura de 2 panel sándwich de chapa 0,4 mm y núcleo de poliuretano de 40 mm con una cámara de aire de 20mm entre ambas, con un trasdosado interior de 2 placas de cartón yeso de 12mm de espesor y 40mm de rana de roca y acabado exterior de panel de piedra taco de 30 mm sobre chapa perforada de 1,2 mm o fachada ventilada con enlucido de cemento reforzado, imitación madera ($U=0,29W/m^2.K$).

- **Cubierta:** formada por una chapa plegada de 8mm de espesor como acabado exterior, lana mineral de roca de 40mm, un forjado de chapa colaborante de 10cm de canto y un falso techo de doble placa de cartón yeso de 12mm y 40mm de lana de roca, para el acabado interior ($U=0,31 W/m^2.K$).

- **Suelo:** constituido por una solera de 10cm de canto, apoyada en una chapa metálica plegada, con un acabado interior de pavimento laminado de madera de 10mm de espesor ($U=2,68 W/m^2.K$).

Del mismo modo que el modelo anterior la construcción se encuentra separada del terreno unos 30 cm y del mismo modo el suelo no está aislado, algo que contradice la teoría de la envolvente térmica continua, pero a pesar de esto, el cerramiento se diseñó para evitar los puentes térmicos en la unión de la cubierta y la fachada, mediante un espesor de 40mm de la lana mineral constante en todo el perímetro a través de los trasdosados y el falso techo.

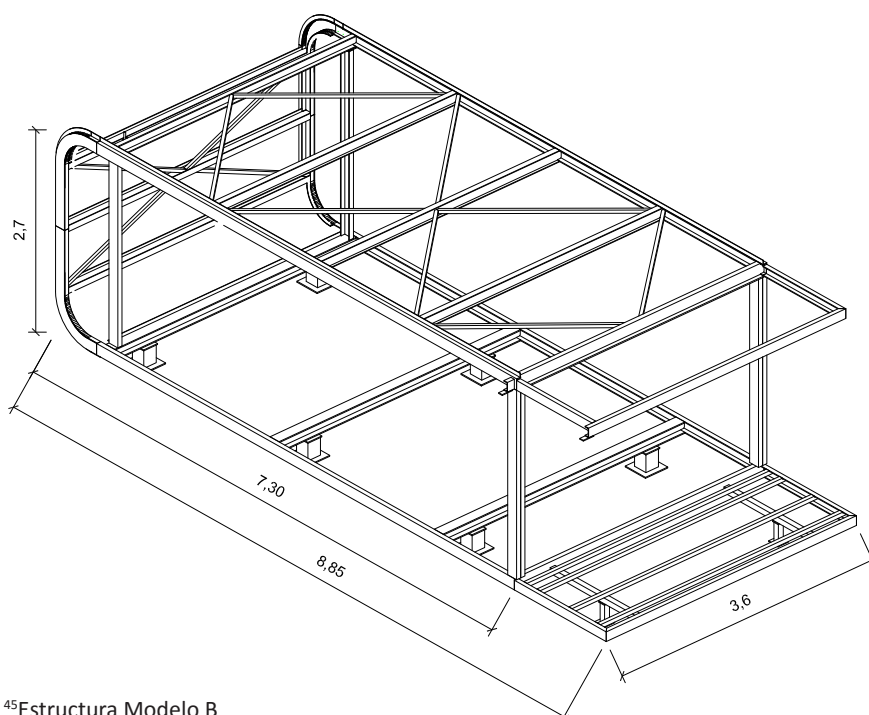
En este caso la compacidad, según la definición descrita, es de 1,85 m, dato bastante desfavorable para el clima en el que se encuentra, provocado por su tamaño tan reducido.



⁴³Imagen del modelo B en construcción en el taller, realizada por Prometal en 2012



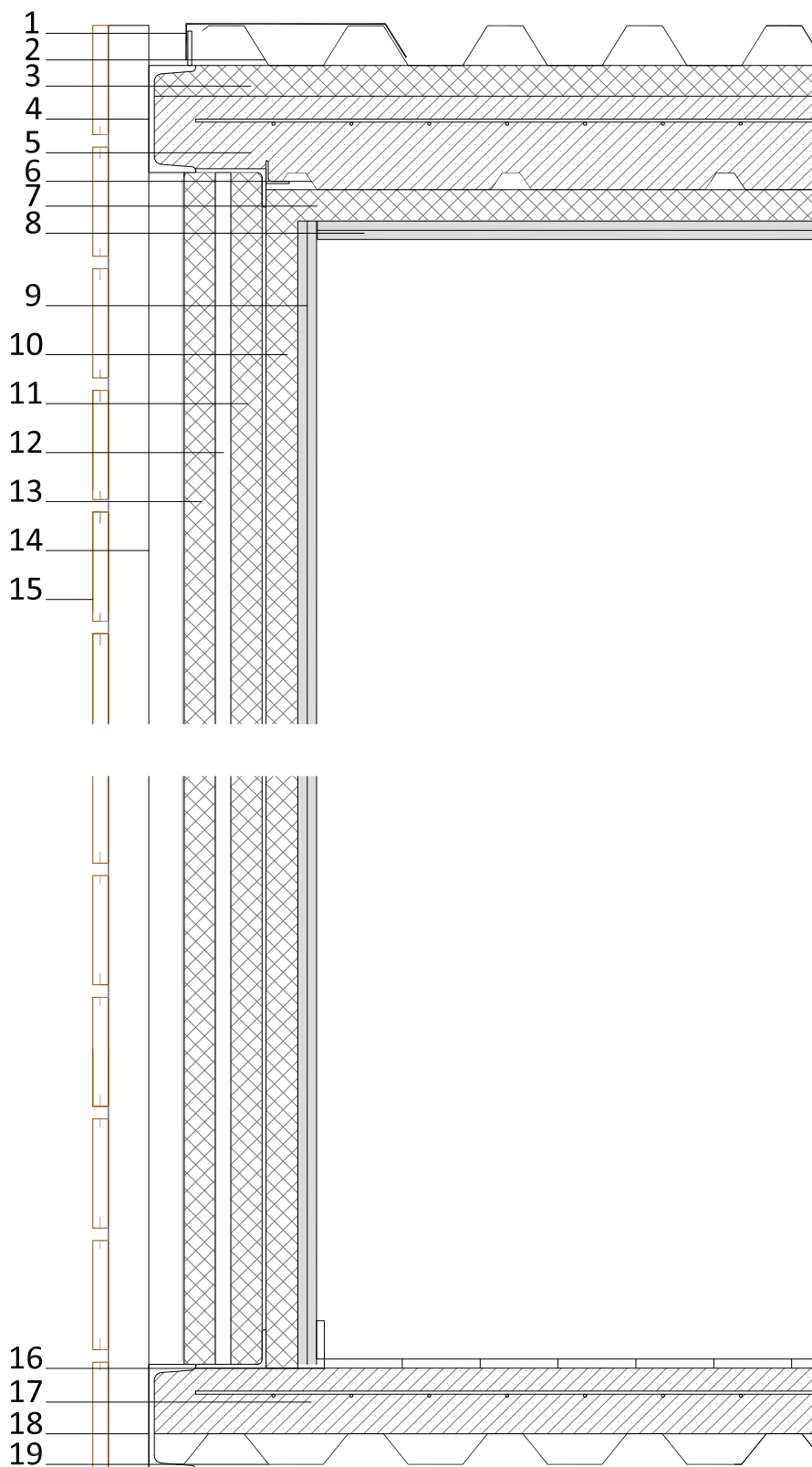
⁴⁴Imagen de la estructura del modelo B, realizada por Prometal en 2012

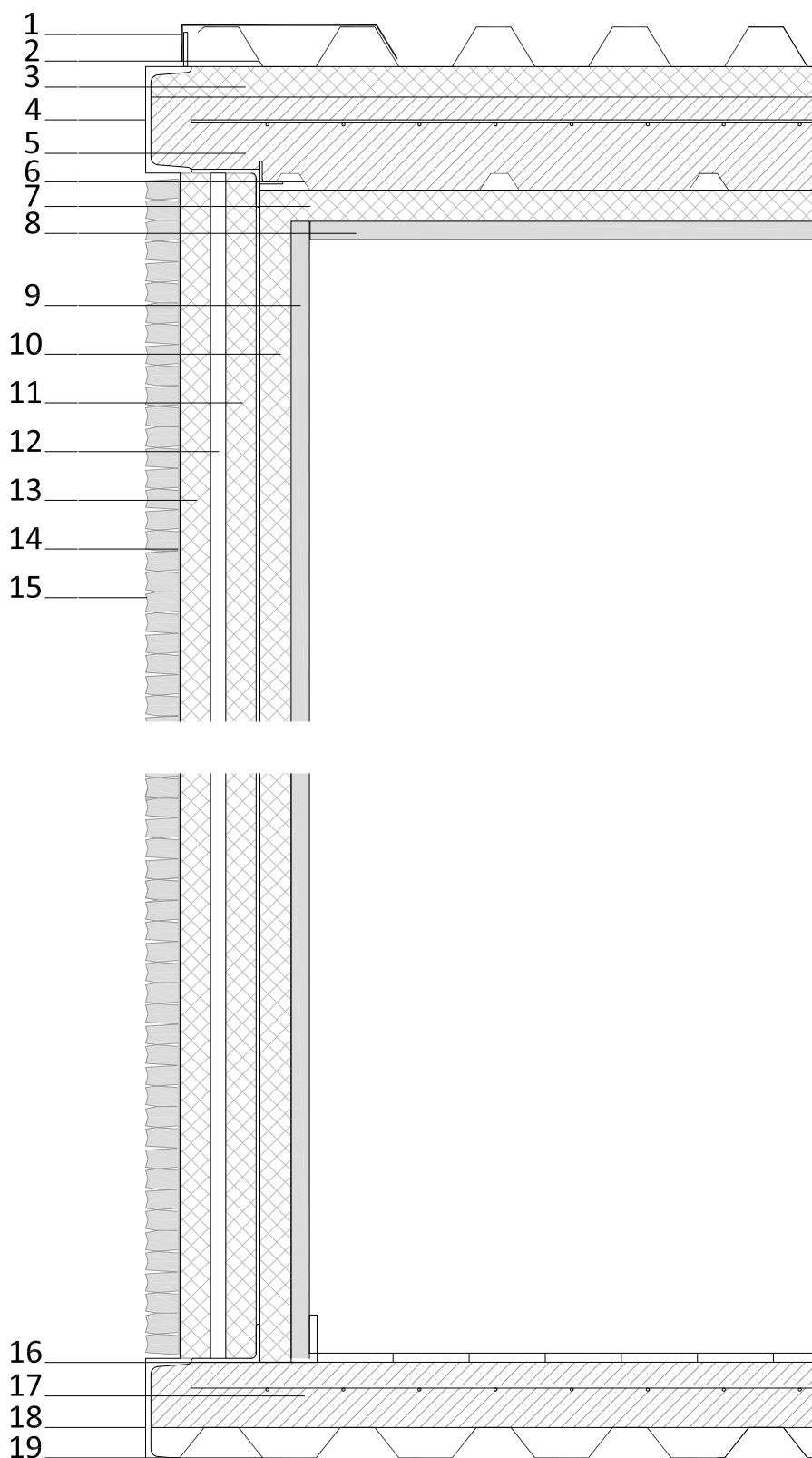


⁴⁵Estructura Modelo B

46 FACHADA DE MADERA

- ¹ Placa de remate de acero inoxidable
- ² Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto
- ³ Aislamiento de lana de roca e=4cm
- ⁴ Perfil laminado de acero UPN 140
- ⁵ Forjado de chapa colaborante e=10cm
- ⁶ Chapa de acero galvanizado para forjado de chapa colaborante e=8mm
- ⁷ Aislamiento de lana de roca e=4cm
- ⁸ Falso techo formado por dos placas de cartón yeso de 12mm de espesor
- ⁹ Trasdosado formado por dos placas de cartón yeso de 12mm de espesor
- ¹⁰ Aislamiento de lana de roca e =4cm
- ¹¹ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ¹² Cámara de aire ligeramente ventilada e=2cm
- ¹³ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ¹⁴ Cámara de aire ligeramente ventilada e=5cm
- ¹⁵ Placas de cemento reforzado imitación madera para acabado de fachada ventilada tipo Euronit
- ¹⁶ Acabado interior de tarima de madera e=2cm
- ¹⁷ Solera de hormigón armado con áridos ligeros e=10cm
- ¹⁸ Perfil laminado de acero UPN 140
- ¹⁹ Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto





⁴⁷FACHADA DE MADERA

- ¹Placa de remate de acero inoxidable
- ² Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto
- ³ Aislamiento de lana de roca e=4cm
- ⁴ Perfil laminado de acero UPN 140
- ⁵ Forjado de chapa colaborante e=10cm
- ⁶ Chapa de acero galvanizado para forjado de chapa colaborante e=8mm
- ⁷ Aislamiento de lana de roca e=4cm
- ⁸ Falso techo formado por dos placas de cartón yeso de 12mm de espesor
- ⁹ Trasdosado formado por dos placas de cartón yeso de 12mm de espesor
- ¹⁰ Aislamiento de lana de roca e =4cm
- ¹¹ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ¹² Cámara de aire ligeramente ventilada e=2cm
- ¹³ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ¹⁴ Chapa perforada de acero para sujeción de acabado e=1,2mm
- ¹⁵ Piedra taco de 30mm de espesor para acabado de fachada.
- ¹⁶ Acabado interior de tarima de madera e=2cm
- ¹⁷ Solera de hormigón armado con áridos ligeros e=10cm
- ¹⁸ Perfil laminado de acero UPN 140
- ¹⁹ Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto



⁴⁸Imagen del modelo C en construcción en el taller, realizada por Prometal en 2012



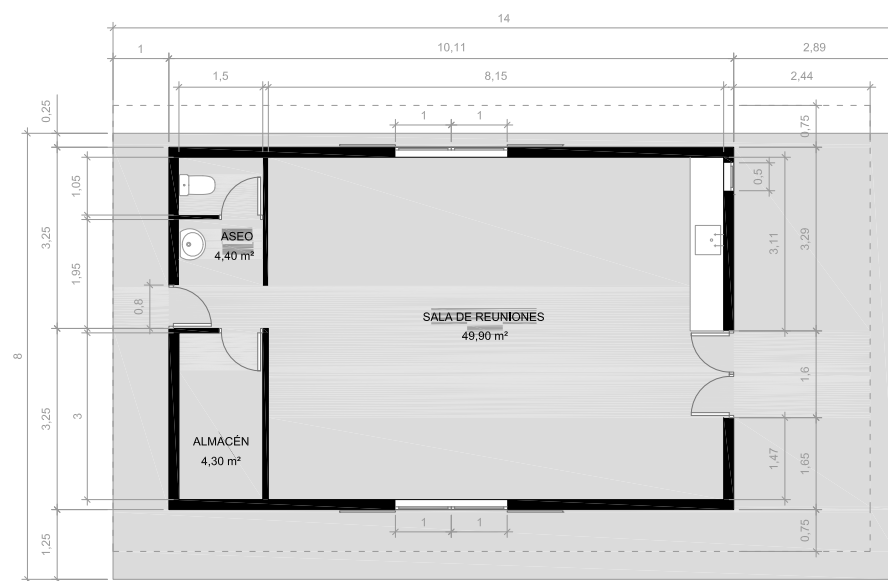
⁴⁹Imagen del modelo C en construcción en el taller, realizada por Prometal en 2012

3. Modelo C (Local vecinal en Orense)

Se construyó en el año 2012 como un local para una comunidad de vecinos de una aldea de Orense. La edificación consta de un pequeño almacén, un aseo y una sala de reuniones equipada con un fregadero y algunos armarios. Se construyó totalmente en fábrica, pero nunca llegó a colocarse en su lugar de destino, ya que por problemas económicos finalmente el encargo se canceló. Actualmente se encuentra en los almacenes de Prometal en el polígono industrial de As Pontes.

Como la edificación se encuentra en un almacén consideraremos que su situación es Orense a una altitud de aproximadamente 500 metros sobre el nivel del mar, la cual corresponde al clima D2 según el CTE.

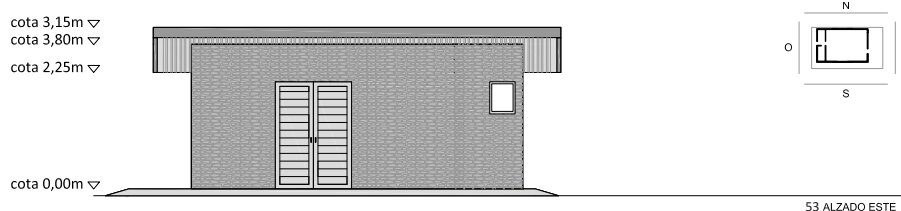
Del mismo modo consideramos que su orientación principal es la sur, ya que el local se diseñó de esta forma para aprovechar la radiación solar.



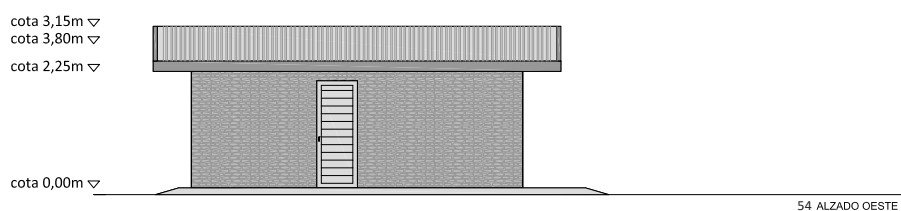
⁵⁰Planta

Tanto en la fachada sur como en la fachada norte se disponen grandes huecos fijos que se pueden proteger con unas contraventanas correderas. Sin embargo en la fachada este aparece un pequeño hueco que permite la ventilación del local y la fachada oeste es totalmente ciega.

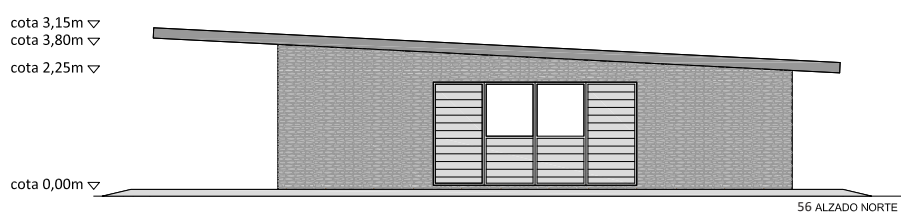
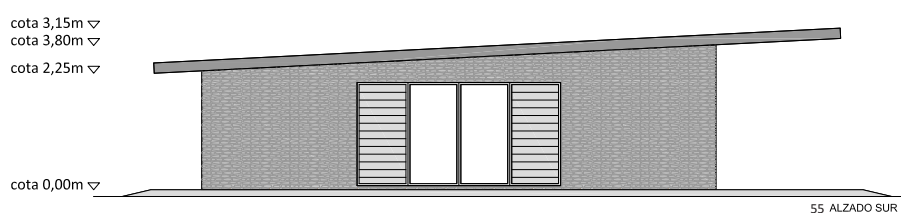
De nuevo son ventanas convencionales de doble vidrio con cámara de aire y rotura de puente térmico simple tipo climalit (4-16-4) con una transmitancia térmica de 2,8 W/m².K, las carpinterías son metálicas de aluminio lacado, con apertura oscilobatiente y sus respectivas contraventanas, también de aluminio lacado. Como ya hemos dicho en este punto estaríamos incumpliendo los criterios de construcción pasiva, que como recordamos nos decía que no deberían superar los 0,8 W/m².K. Para proteger las grandes ventanas de la radiación solar aparecen unos voladizos en la cubierta.



⁵¹Imagen del modelo C en construcción en el taller, realizada por Prometal en 2012



⁵²Imagen interior del modelo C en construcción en el taller, realizada por Prometal en 2012



En este caso la base es una estructura prefabricada compuesta por la unión de dos módulos y a la que se le añade una envolvente que queda definida por los siguientes elementos:

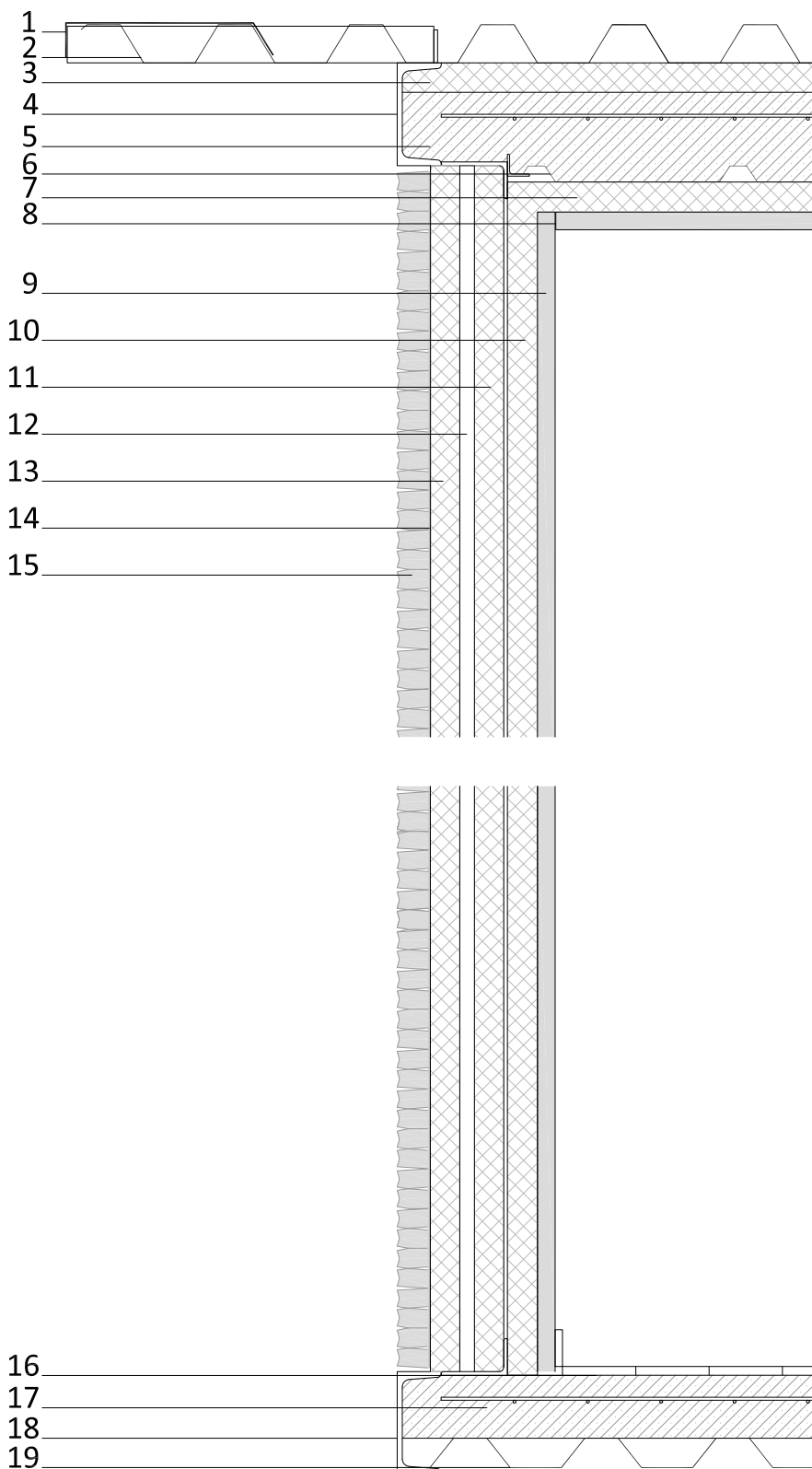
-Fachada: se compone de una subestructura de 2 panel sándwich de chapa 0,4 mm y núcleo de poliuretano de 40 mm con una cámara de aire de 20mm entre ambas, con un trasdosado interior de 2 placas de cartón yeso de 12mm de espesor sobre perfiles de acero galvanizado y 40mm de rana de roca y acabado exterior de piedra compuesta por tacos de pizarra negra de 30 mm sobre chapa perforada de 1,2 mm ($U=0,29(W/m^2.K)$).

-Cubierta: formada por una chapa plegada de 8mm de espesor como acabado exterior, lana mineral de roca de 40mm, un forjado de chapa colaborante con áridos ligeros de 10cm de canto y un falso techo de doble placa de cartón yeso de 12mm y 40mm de lana de roca, para el acabado interior ($U=0,37 W/(m^2.K)$).

-Suelo: constituido por un forjado de chapa colaborante de 10cm de espesor con una greca de 5cm de altura y un acabado interior de piezas de PVC de imitación madera dispuestas sobre espuma de poliuretano de 3mm de espesor ($U=2,68 W/(m^2.K)$).

⁵⁷FACHADA

- ¹ Placa de remate de acero inoxidable
- ² Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto
- ³ Aislamiento de lana de roca e=4cm
- ⁴ Perfil laminado de acero UPN 140
- ⁵ Forjado de chapa colaborante e=10cm
- ⁶ Chapa de acero galvanizado para forjado de chapa colaborante e=8mm
- ⁷ Aislamiento de lana de roca e=4cm
- ⁸ Falso techo formado por dos placas de cartón yeso de 12mm de espesor
- ⁹ Trasdosado formado por dos placas de cartón yeso de 12mm de espesor
- ¹⁰ Aislamiento de lana de roca e =4cm
- ¹¹ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ¹² Cámara de aire ligeramente ventilada e=2cm
- ¹³ Paneles sándwich de chapa de acero inoxidable de 0,4 mm de espesor y núcleo de poliuretano de 40 mm
- ¹⁴ Chapa perforada de acero para sujeción de acabado e=1,2mm
- ¹⁵ Piedra taco de 30mm de espesor para acabado de fachada.
- ¹⁶ Acabado interior de piezas de PVC imitación madera
- ¹⁷ Solera de hormigón armado con áridos ligeros e=10cm
- ¹⁸ Perfil laminado de acero UPN 140
- ¹⁹ Chapa plegada de acero inoxidable e=8mm y 5cm de canto



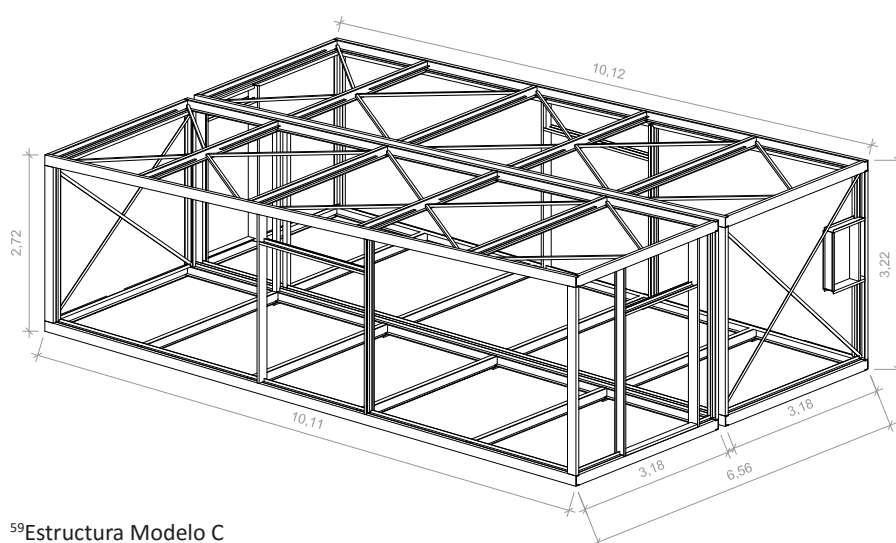
A diferencia de los anteriores modelos, éste no se encuentra separado del suelo por una cámara de aire que favorezca la ventilación, sino que se apoya sobre una solera de hormigón que evita que las humedades del terreno suban por capilaridad hasta la edificación.

Sin embargo el suelo sigue sin estar aislado, como en los casos anteriores, contradiciendo la teoría de la envolvente térmica continua, pero del mismo modo el cerramiento se diseñó para evitar los puentes térmicos en la unión de la cubierta y la fachada, mediante un espesor de 40mm de la lana mineral constante en todo el perímetro a través de los trasdosados y el falso techo, como dijimos en el caso de Aréa.

Su compactidad es de 0,86 un valor bastante ajustado para sus dimensiones y claramente más compacto que los casos anteriores, lo que resulta favorecedor, ya que las pérdidas térmicas a través de la envolvente se reducen.



⁵⁸Imagen de la estructura del modelo C en construcción en el taller, realizada por Pro-metal en 2012



⁵⁹Estructura Modelo C

HERRAMIENTA UNIFICADA LIDER-CALENER (HULC)

Una vez estudiados los modelos y analizado cada uno de los aspectos que afectan a su comportamiento térmico, se pasa al análisis con la herramienta informática HULC⁽¹⁷⁾, uno de los programas oficiales del ministerio de fomento para la verificación de los requerimientos del CTE-HE1 y para la certificación energética en España.

Esta herramienta informática tiene como objetivo ayudar a calcular la limitación de consumo energético y la demanda energética anual del edificio objeto teniendo en cuenta la normativa española⁽¹⁸⁾, así como evaluar la calificación energética del mismo.

Para ello el programa genera un edificio de referencia según las características del edificio objeto con los valores de demanda límite que permite la normativa para cada caso.

En toda España la demanda de refrigeración no puede superar los 15 Kw/m².año sin embargo la demanda de calefacción varía dependiendo de la zona climática en la que nos encontremos.

Además en los edificios de uso no residencial la normativa limita la demanda del edificio de forma conjunta (refrigeración y calefacción), por lo que podríamos superar los 15 Kw/m².año de refrigeración si lo compensamos con la demanda de calefacción.

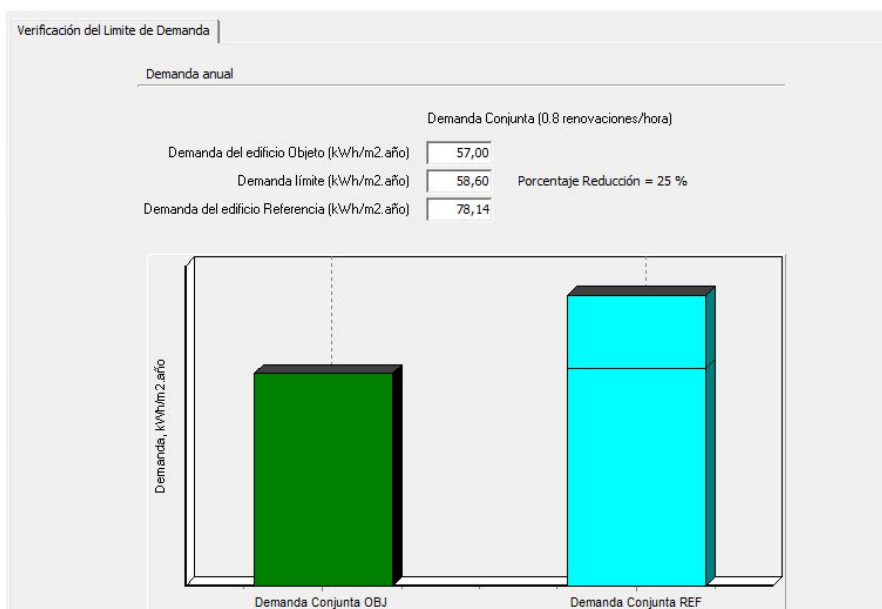
Vemos como el estándar Passivhaus es bastante más restrictivo ya que como recordamos, exigía que tanto la demanda de refrigeración como la de calefacción no podía superar los 15 KW/m².año independientemente del lugar en el que se encuentre el edificio.

Para empezar analizaremos cada módulo en su situación real y verificaremos si cumple o no el CTE HE-1.

1.Cálculo del Modelo A

-Modelo A.0. (Estado actual)

⁶⁰Resultados dados por el programa HULC del modelo A en su estado actual.



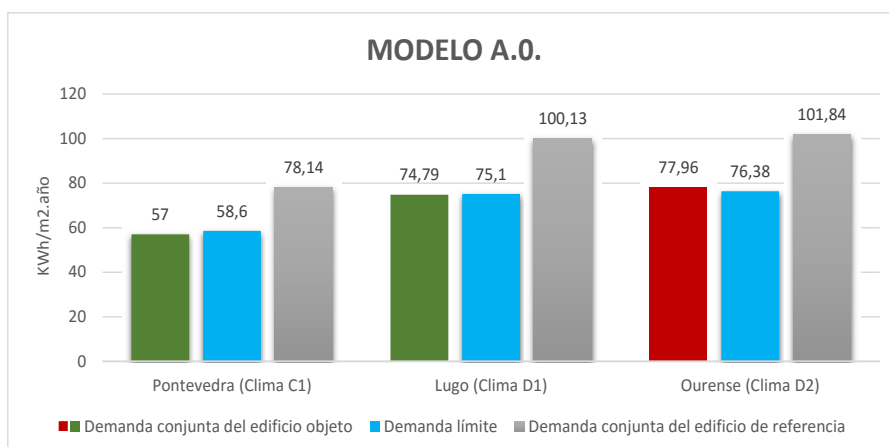
⁽¹⁷⁾ HULC (Herramienta Unificada Lider-Calener)

En diciembre de 2015, el ministerio de fomento, sacó una herramienta informática para la certificación de edificios en España, que unía en una misma plataforma los antiguos programas de certificación oficial LIDER Y CALENER.

⁽¹⁸⁾ La herramienta HULC sólo sirve para la justificación de una parte del documento básico de ahorro de energía del CTE,(DB-HE0 y el DB-HE1).

Como se trata de un edificio de uso no residencial el programa ha calculado una demanda conjunta para un edificio de referencia con características similares a las del modelo A y una demanda límite que se deduce de aplicar un porcentaje de ahorro en este caso del 25% de la demanda del edificio de referencia. Vemos como a pesar de algunos aspectos negativos como la falta de aislamiento en el suelo, los puentes térmicos o la baja compacidad, el edificio cumple según el CTE con los valores límites de demanda anual.

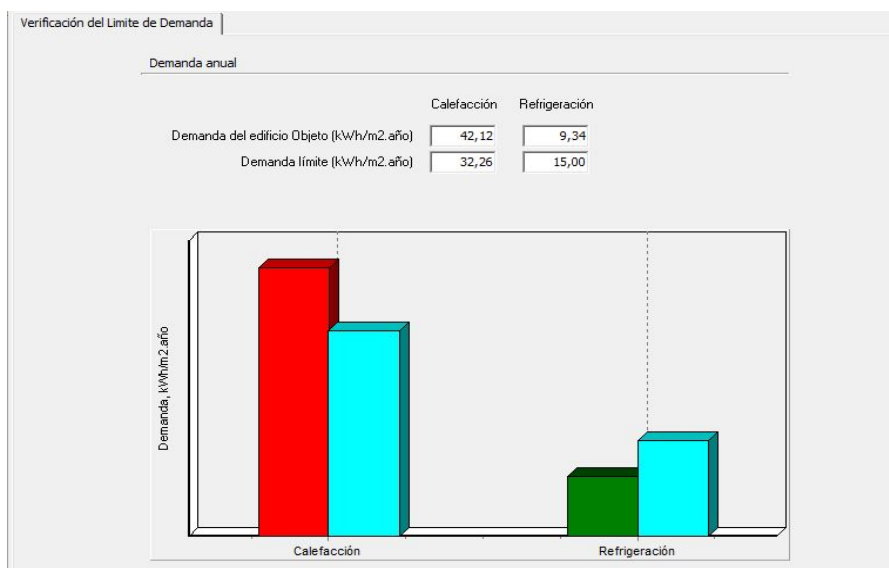
Calculamos ahora el edificio en las otras dos zonas climáticas en las que se encuentran los otros dos modelos, para poder compararlos más adelante.



⁶¹Gráfica comparativa de las demandas del modelo A en el clima C1, D1 y D2.

Podemos ver como en el Clima D1 y D2 la demanda es similar, pero considerablemente mayor que en la zona climática C1 en la que se encuentra, aunque solo en el último caso no cumple.

En este caso estaríamos dentro de lo que dicta la normativa española, ya que al ser un pequeño edificio de uso terciario la demanda aparece de forma conjunta (calefacción y refrigeración) pero si consideramos las mismas condiciones en un edificio de uso residencial, obtendríamos los siguientes valores:



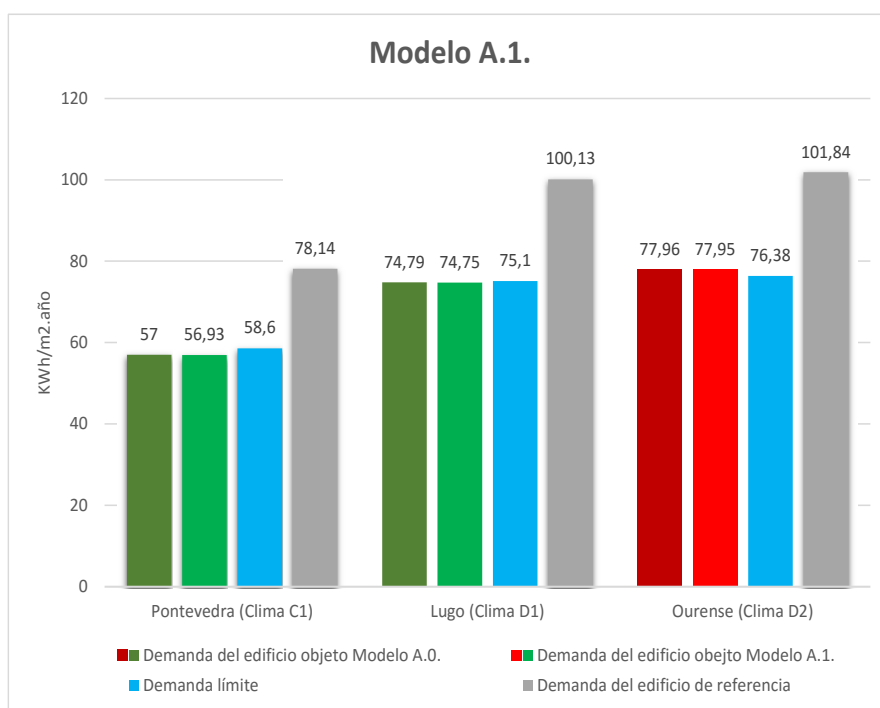
⁶²Resultados dados por el programa HULC del modelo A con uso residencial.

Vemos cómo pese a que la demanda de refrigeración es baja (9,34 kWh/m².año) cumpliendo con la demanda límite, los valores de demanda anual para calefacción superan los máximos establecido (42,12 kWh/m².año), algo predecible ya que el suelo de la edificación no se encuentra aislado y por lo tanto hay enormes pérdidas térmicas.

En un primer acercamiento, como nos dice el estándar Passivhaus, hay que promover el uso de materiales ecológicos por lo que sustituimos todos los aislamiento de poliuretano proyectado por lana de roca mineral de características similares, debido a que éste primero es muy contaminante y perjudicial para la salud en caso de incendio. Con estos cambios comprobamos de nuevo en cada clima y vemos como afecta al modelo.

-Modelo A.1. (Aislamiento de lana de roca)

⁶³Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.1. con las del modelo A.0. en el clima C1, D1 y D2.

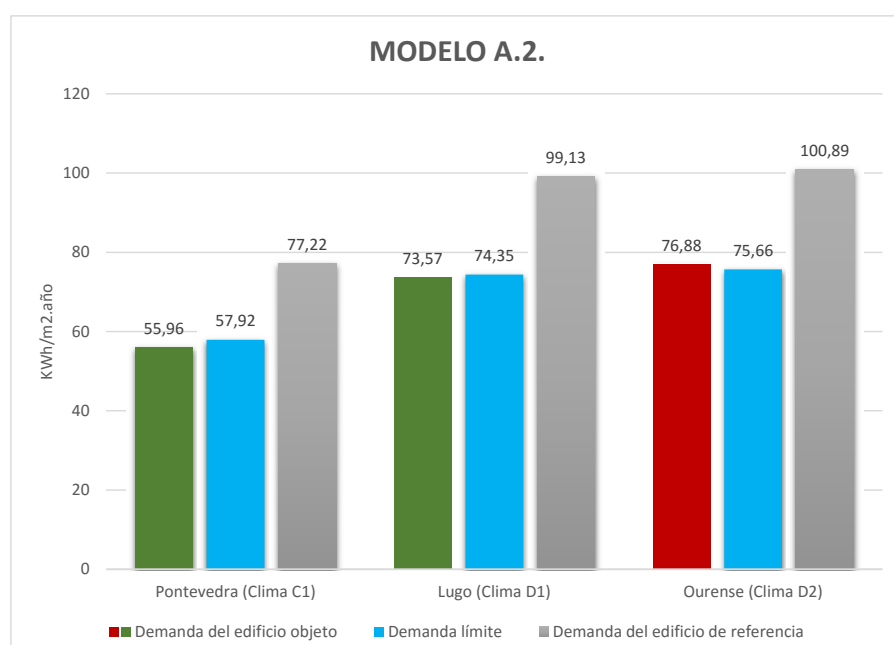


Como podemos observar en el gráfico anterior no hay apenas diferencia en cuanto a la demanda, que se reduce tan solo unas décimas con el aislamiento de lana de roca y por lo tanto la transmitancia del cerramiento es un poco menor.

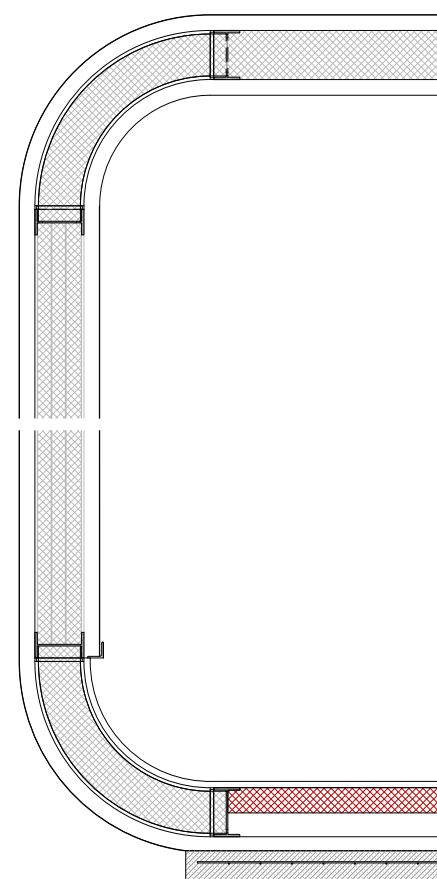
Ya que el comportamiento térmico mejora y se trata de un material ecológico y respetuoso con el medio ambiente, a partir de este punto, realizaremos el resto de los análisis con un aislamiento sostenible de lana de roca mineral sustituyendo al poliuretano proyectado que utilizaba la empresa, como nos dice la teoría del Passivhaus.

Continuamos los análisis calculando el edificio colocando el suficiente aislamiento en el suelo como para cumplir con el CTE, que nos dice que para este caso no se permiten transmitancias superiores a $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, lo que supone 8cm de aislamiento de lana de roca para obtener un valor de $0,42 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, mucho menor que la que teníamos anteriormente ($U=2,40 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$).

-Modelo A.2. (8cm de aislamiento en el suelo)



⁶⁴Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.2. en el clima C1, D1 y D2.



⁶⁵Detalle del Modelo A.2., con 8cm de aislamiento en el suelo, realización propia.

En el gráfico vemos como las demandas han disminuido entre 1 y 2 KW, y aunque seguimos cumpliendo en los climas C1 y D1, aún superamos los límites en el clima D2, por lo que parece que en ese caso, este aislamiento no sería suficiente.

Este espesor de aislamiento sería el necesario para cumplir con el CTE DB-HE, sin embargo no debemos olvidar que estas son las exigencias que plantea la normativa para el ámbito de aplicación que se establece en él, que en nuestro caso real quedaría excluido, pero a fin de poder analizarlo, obviamos esta exigencia, ya que en futuras obras con otro uso, como por ejemplo escolar, entraríamos dentro del ámbito de aplicación.

Además con el fin de entender mejor el comportamiento térmico, se realiza un estudio colocando una línea de aislamiento continua en toda la envolvente y aumentaremos su espesor progresivamente. Partiremos con 8cm de aislamiento (lo mínimo con lo que conseguiríamos las transmitancias límites expuestas en el CTE DB-HE)⁽¹⁸⁾ hasta llegar a los 28cm de aislamiento. Se decide llegar a este espesor porque con él conseguimos los valores de transmitancia que nos aconseja el estándar Passivhaus para climas moderadamente fríos ($0,10-0,15 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$).

⁽¹⁸⁾En el apéndice D del DB-HE1 apartado D2. Parámetros característicos de la envolvente, se definen las transmitancias límites de cada elemento de la envolvente conforma al clima en el que se encuentra el edificio.

-Modelo A.3.(Aislamientos continuos)

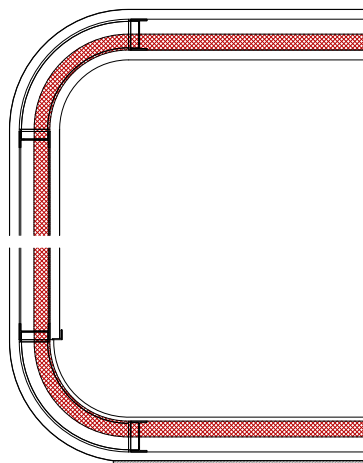


Fig. A 8cm de aislamiento

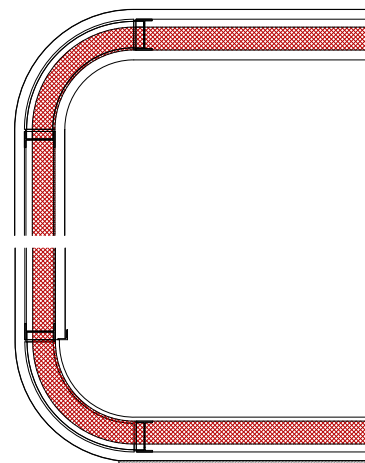


Fig. B 12cm de aislamiento

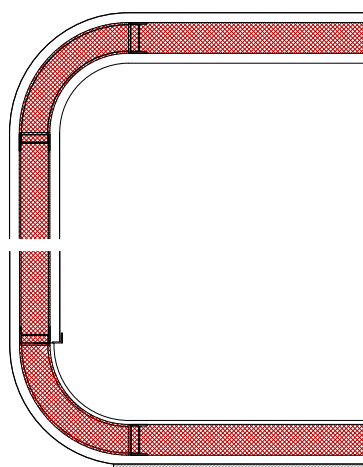


Fig. C 16cm de aislamiento

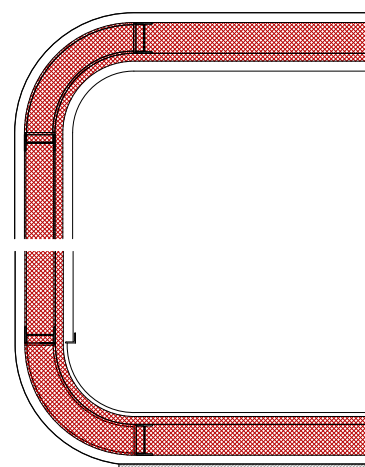


Fig. D 20cm de aislamiento

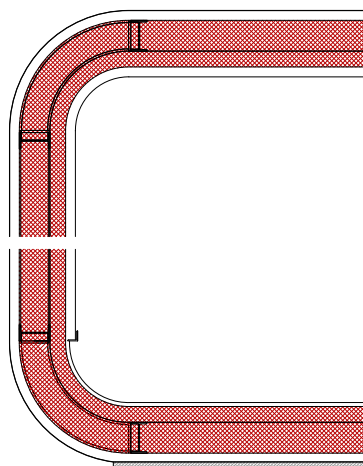


Fig. E 24cm de aislamiento

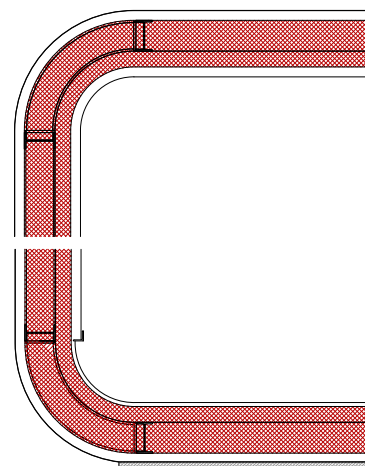
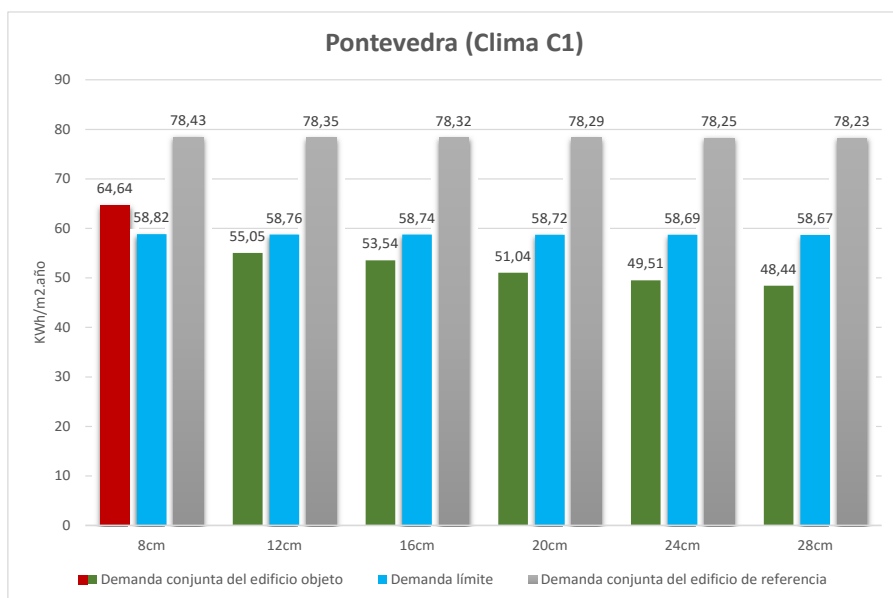


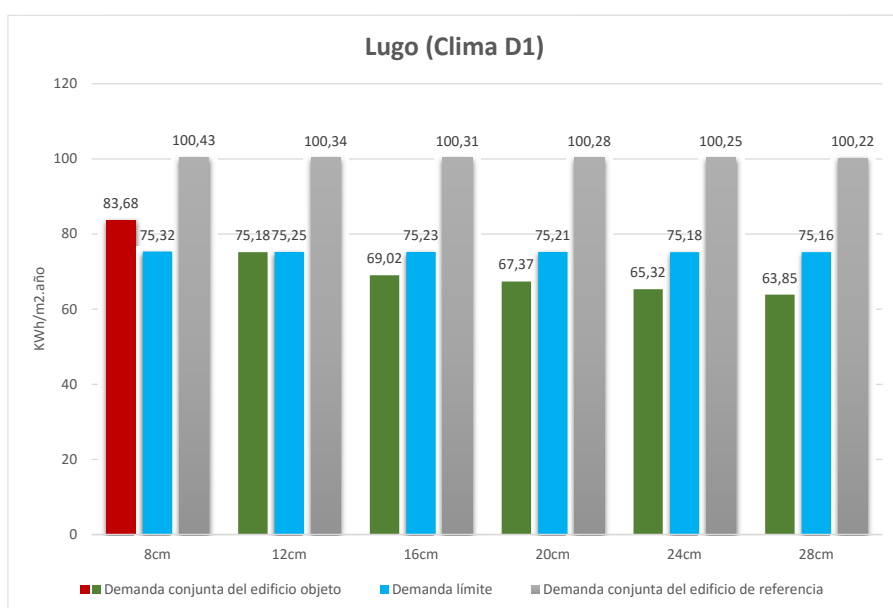
Fig. F 28cm de aislamiento

⁶⁶Detalles constructivos del Modelo A.3., incrementando el aislamiento cada 4cm, realización propia.



⁶⁷Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.3. en el clima C1.

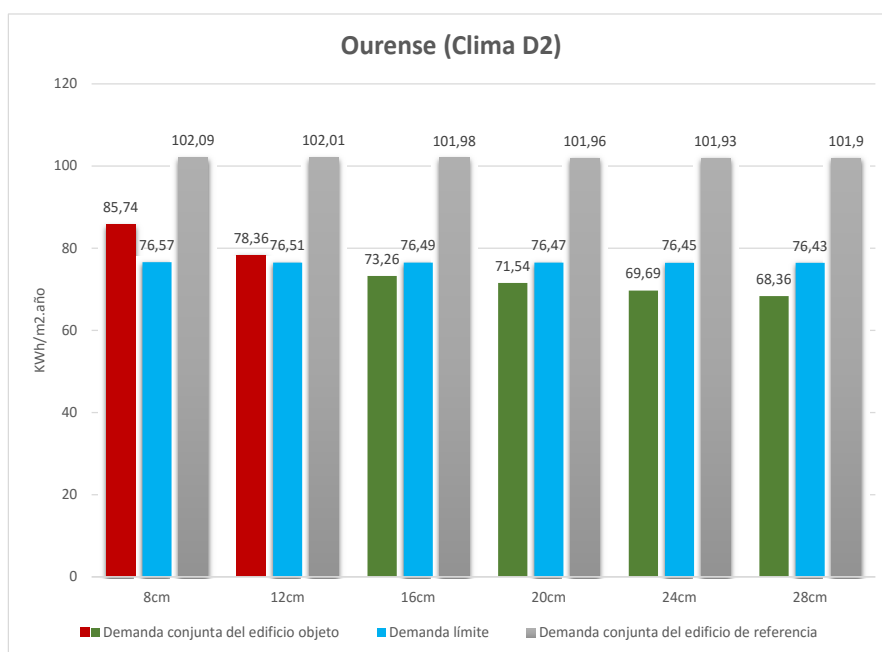
Como vemos en el gráfico con la figura A (8cm de aislamiento) no cumpliríamos la demanda límite, necesitaríamos al menos 12 cm, lo que supone una transmitancia de la envolvente de aproximadamente 0,30 W/(m².K) como se indica en la figura B. Aumentando el aislamiento hasta los 28cm hay una reducción entorno a 10Kw.h/m².año del resultado inicial, pero aún no es suficiente para alcanzar los 30 Kw.h/m².año de demanda conjunta que dice el estándar Passivhaus.



⁶⁸Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.3. en el clima D1.

Como en el caso anterior con la figura A (8cm de aislamiento) no cumpliríamos la demanda límite, necesitaríamos recurrir a la figura B que corresponde a 12cm de aislamiento.

⁶⁹Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.3. en el clima D2.



En este caso las demandas son similares a las del clima D1 pero sin embargo tendríamos que optar por la figura C para llegar a los límites de demanda que nos marca.

Aunque las demandas del clima D1 y D2 son considerablemente mayores que las del C1, claramente Ourense sería la situación más desfavorable, ya que el clima es más extremo y generaríamos más demanda de calefacción en las estaciones frías y más refrigeración en verano.

Si cuantificáramos la diferencia entre unos climas y otros podríamos decir que con respecto al clima C1 hay un aumento de más de 20 Kw.h/m².año.

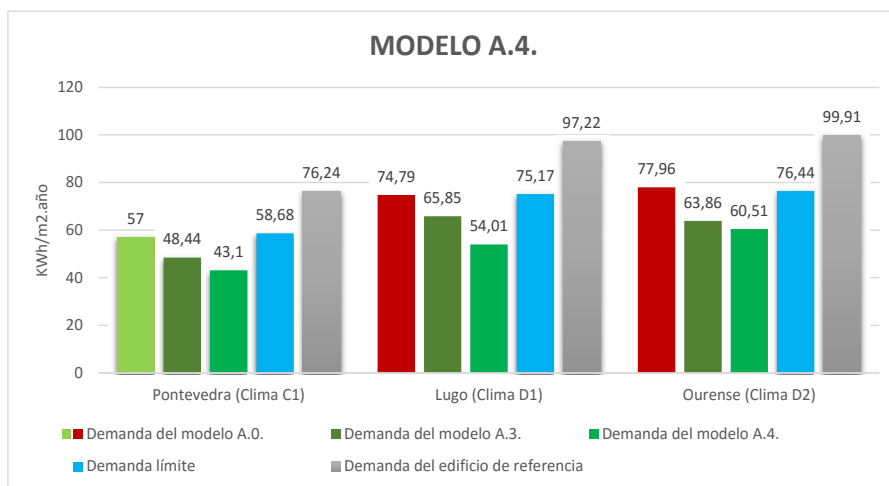
En el primer caso (Clima C1, Pontevedra) no estamos muy alejados de lo que nos pide el estándar y quizás si seguimos aumentando el espesor podremos alcanzar la demanda límite.

Sin embargo en los otros dos casos aunque llegásemos a la demanda anual que nos pide el CTE podemos observar que seguimos estando bastante lejos de las exigencias del Passivhaus y únicamente aumentando la dimensión del aislamiento no llegaríamos a cumplir con ello, por lo que deberíamos considerar otras estrategias de diseño. Para los posteriores análisis utilizaremos la figura F del modelo A.3., ya que de todas es la más favorable en todos los climas.

La primera de estas estrategias será modificar las carpinterías, que como ya dijimos se trata de vidrios dobles simples con rotura de puente térmico con una transmitancia de 2,56 W/m²año y según el Passivhaus tienen que ser ventanas con triple acristalamiento y gases nobles en las cámaras, con transmitancias muy bajas (hasta 0,8 W/m²año), con lo que conseguiremos que las pérdidas que se producen en los huecos se reduzcan considerablemente.

En el siguiente gráfico vamos a comparar la demanda del modelo A.O. en su estado actual, con el modelo A.3. con un aislamiento continuo de 28cm y con el modelo A.4. que tiene colocadas carpinterías especiales para Passivhaus.

-Modelo A.4.(Ventanas Passivhaus)



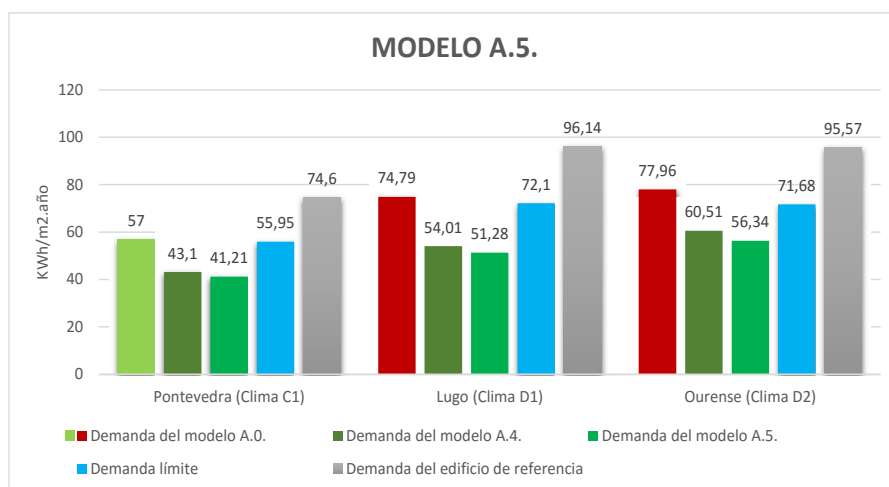
⁷⁰Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.4. con el modelo A.0. y A.3. en el clima C1, D1 y D2.

Vemos como la demanda desciende considerablemente, pero aún así no es suficiente para conseguir en este caso los 30 KWh/m2.año de demanda conjunta.

Como último análisis, utilizando el modelo A.4., cambiaremos la orientación para que coincida con la sur, según recomienda el estándar, para aprovechar al máximo la radiación solar.

En el siguiente gráfico compararemos el modelo con la nueva orientación (modelo A.5.) con el modelo A.0. en su estado actual y el mismo con la orientación anterior(modelo A.4.).

-Modelo A.5.(Orientación sur)



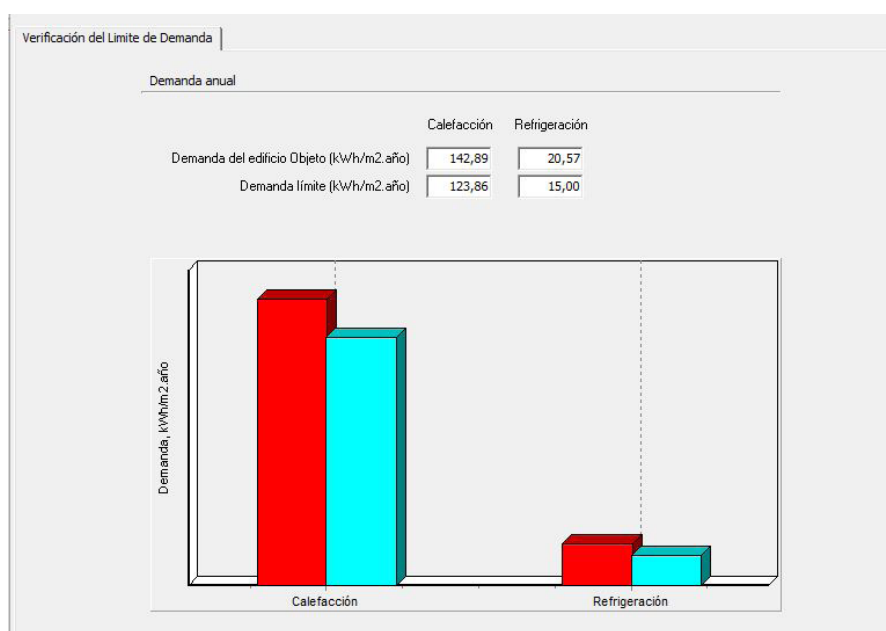
⁷¹Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.5. con el modelo A.0. y A.4. en el clima C1, D1 y D2.

A pesar de todas las modificaciones que hemos realizado, no conseguimos alcanzar los límites de demanda que nos pide el Passivhaus, pero reducimos considerablemente la demanda en comparación con el modelo original, por lo que deberemos tener en cuenta otros aspectos para poder alcanzar el estándar.

2. Cálculo del modelo B

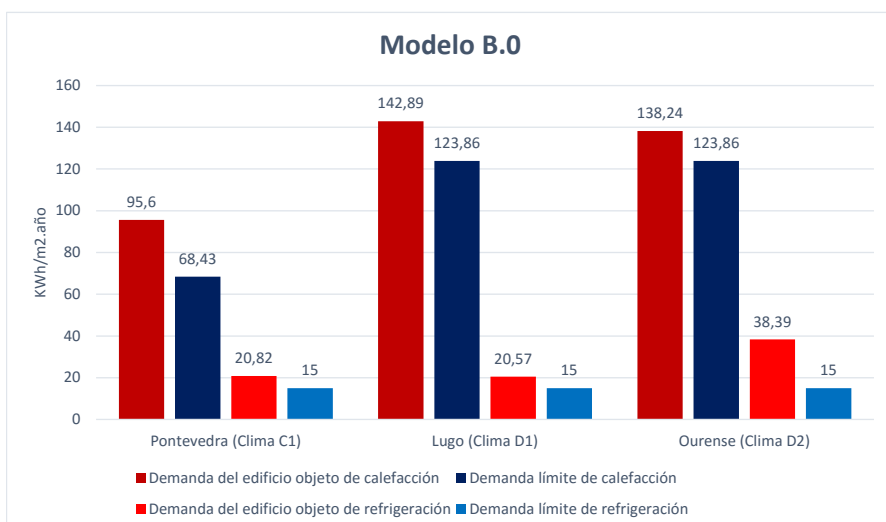
-Modelo B.0. (Estado actual)

⁷²Resultados dados por el programa HULC del modelo B en su estado actual.



Con esta solución superamos los valores máximos de demanda anual. Debido a que carecemos de aislamiento en el suelo, el programa ha considerado que toda la superficie de la base es un puente térmico ya que no se encuentra aislado, y por lo tanto hay enormes pérdidas energéticas. El modelo B.0. está calculado en Viveiro, Lugo, su ubicación actual, pero como en el caso anterior, calculamos el módulo en cada uno de las tres zonas climáticas correspondientes a los tres modelos, para compararlos más adelante.

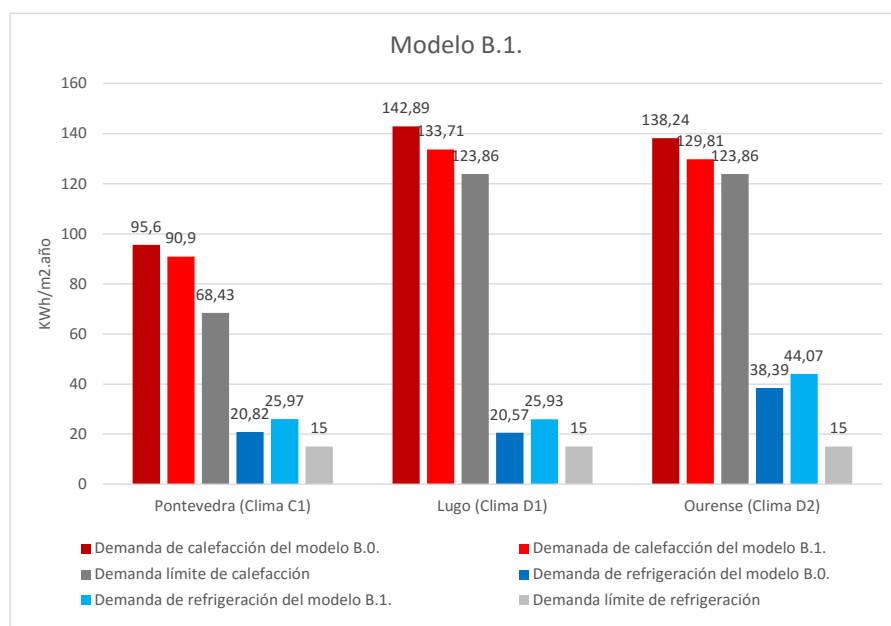
⁷³Gráfica comparativa de las demandas del modelo B en el clima C1, D1 y D2.



Vemos como en ningún clima cumple ni la calefacción ni la refrigeración, pero aunque en el clima C1 la demanda de calefacción es considerablemente menor que en los otros dos climas, se encuentra mucho más alejada de la demanda límite y sin embargo en el clima D2 la demanda de refrigeración es bastante mayor, casi el doble, que en los otros dos climas.

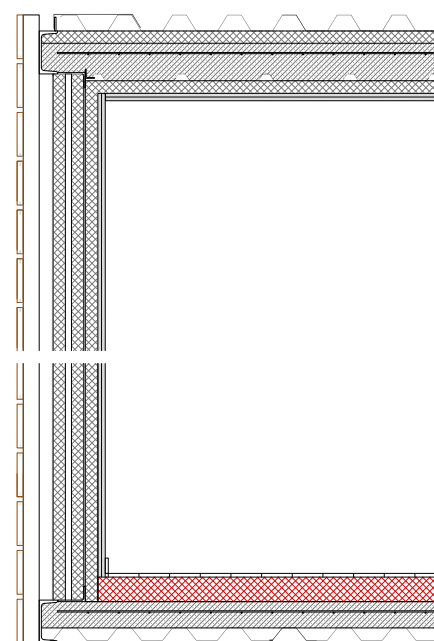
Como en el modelo A ya comprobamos que el aislamiento de lana de roca tiene más ventajas respecto del poliuretano proyectado y que respecto al comportamiento térmico no hay apenas diferencia, todos los análisis que realicemos a este modelo serán sustituyendo los aislamiento por lana de roca. En un primer acercamiento analizamos el modelo colocando 8cm de aislamiento de lana de roca en el suelo, ya que con este espesor conseguimos la transmitancia límite que nos dice el CTE DB-HE y evitamos que el programa considere la superficie del suelo como un puente térmico.

-Modelo B.1. (8cm de aislamiento en el suelo)



⁷⁴Gráfica comparativa de las demandas del modelo B.1. en el clima C1, D1 y D2.

Como podemos ver en el gráfico en todos los casos la demanda de calefacción ha disminuido pero en cambio la de refrigeración ha aumentado, por lo que finalmente no conseguimos reducir la demanda conjunta total. Además según la teoría del Passivhaus, debemos tener aislada toda la envolvente de forma continua, por lo tanto, a fin de entender mejor el comportamiento energético del modelo y como hicimos en el modelo A, colocamos una línea de aislamiento continua de lana de roca en toda su envolvente. En este caso realizamos un primer análisis aumentando progresivamente el aislamiento hacia la cara interior del cerramiento y un segundo del mismo modo pero hacia la cara exterior del cerramiento, de esta forma podremos sacar conclusiones de cual de estas soluciones es mejor.



⁷⁵Detalle del Modelo A.1., con 8cm de aislamiento en el suelo, realización propia.

-Modelo B.2. (Aislamiento continuo hacia el interior)

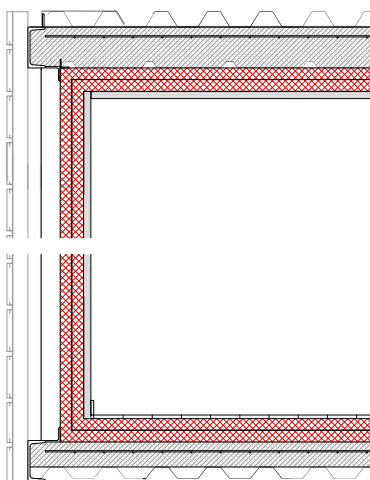


Fig. A 8cm de aislamiento

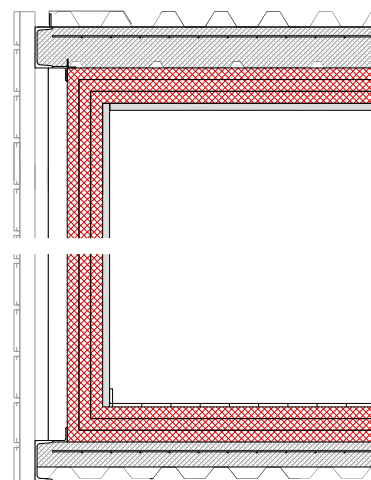


Fig. B 12cm de aislamiento

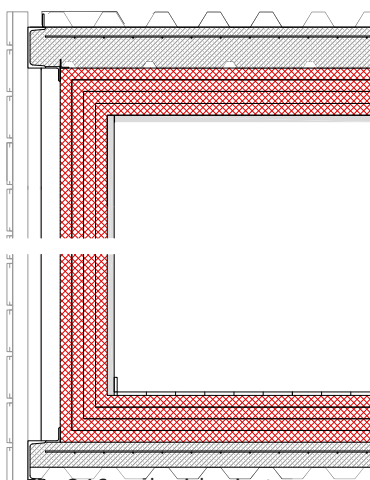


Fig. C 16cm de aislamiento

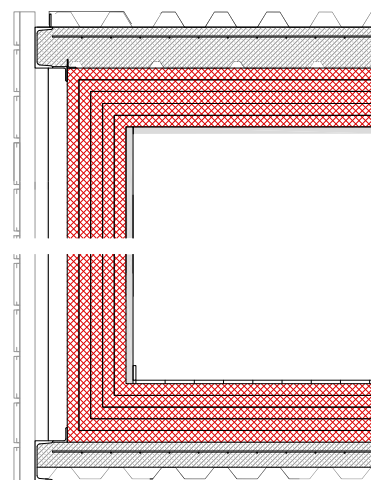


Fig. D 20cm de aislamiento

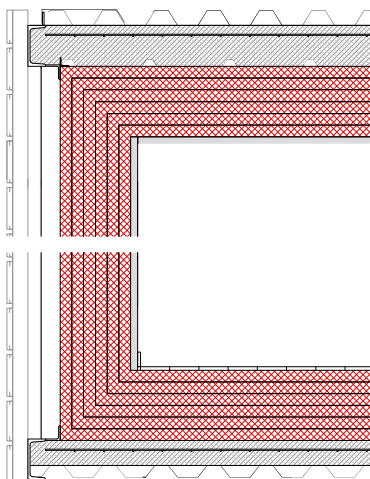


Fig. E 24cm de aislamiento

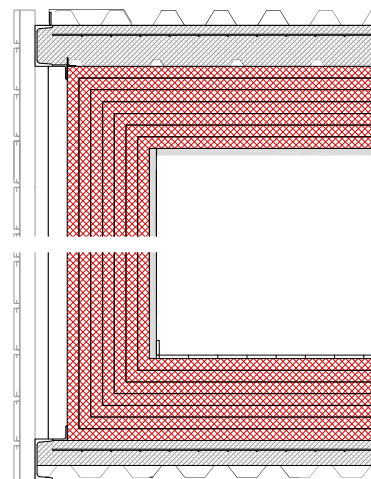


Fig. F 28cm de aislamiento

⁷⁶Detalles constructivos del Modelo B.2., incrementando el aislamiento cada 4cm, realización propia.

-Modelo B.3. (Aislamiento continuo hacia el exterior)

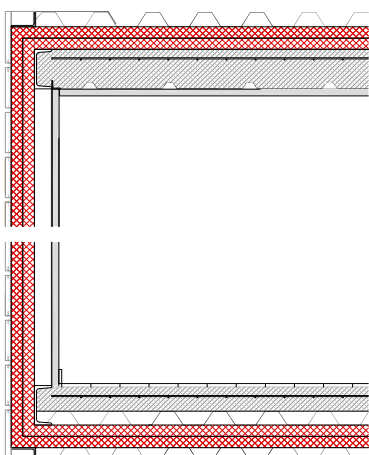


Fig. A 8cm de aislamiento

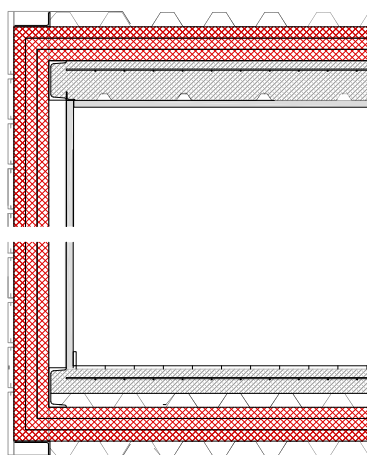


Fig. B 12cm de aislamiento

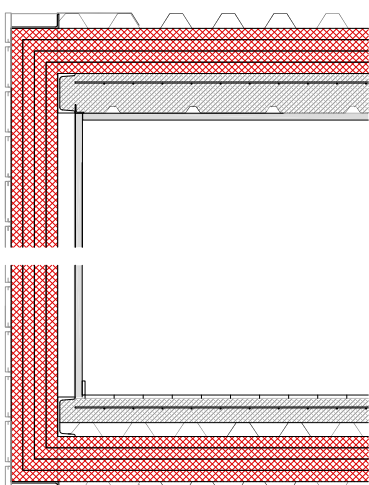


Fig. C 16cm de aislamiento

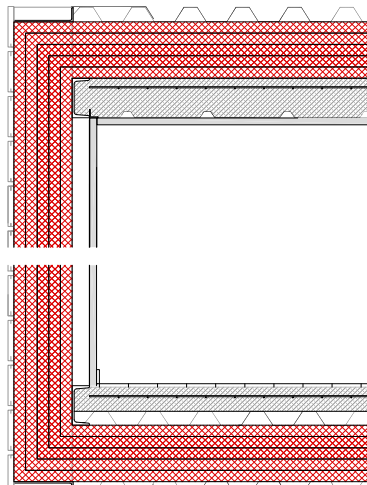


Fig. D 20cm de aislamiento

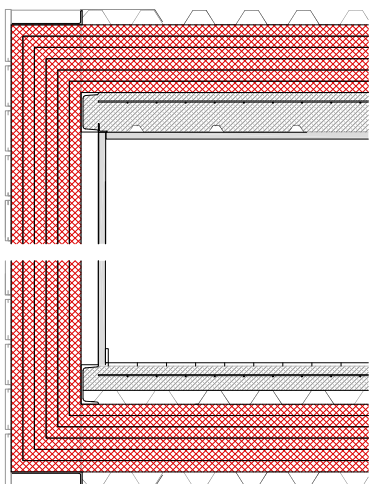


Fig. E 24cm de aislamiento

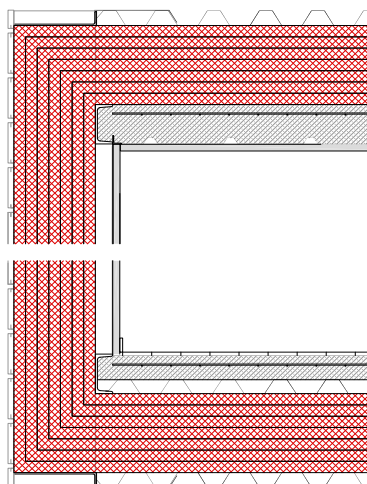
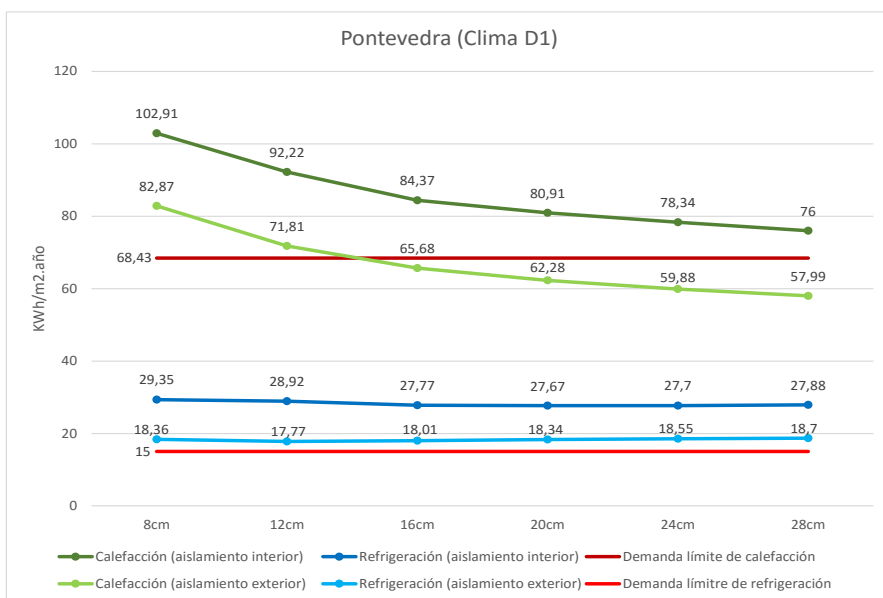


Fig. F 28cm de aislamiento

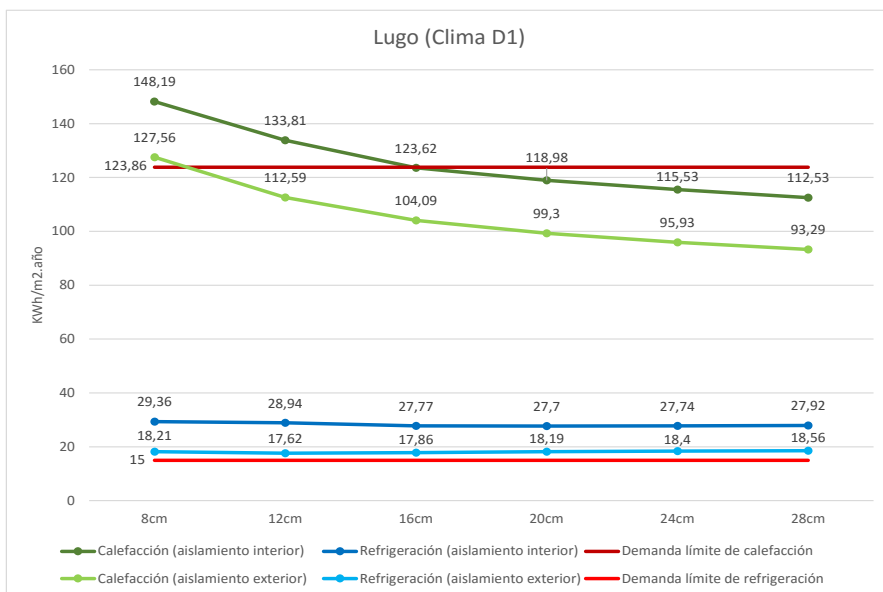
⁷⁷Detalles constructivos del Modelo B.3., incrementando el aislamiento cada 4cm, realización propia.

⁷⁸Gráfica comparativa de las demandas del modelo B.2. y B.3. en el clima C1.

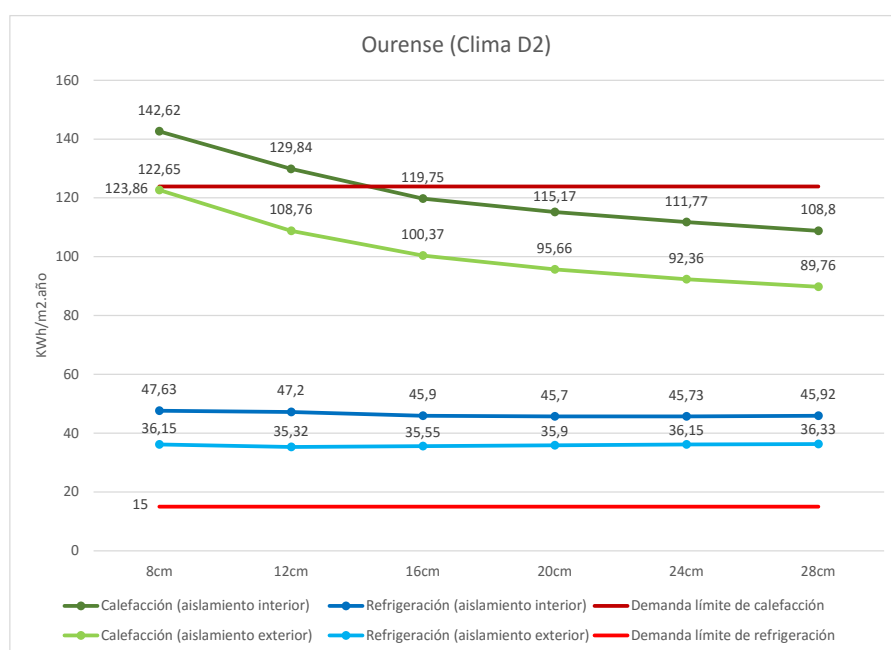


Como vemos en el gráfico con en el clima C1 empezariamos a cumplir con los límites de demanda de calefacción a partir de 14 cm aproximadamente de aislamiento continuo hacia la cara exterior del cerramiento y sin embargo no conseguimos estar por debajo de la demanda límite en ningún caso estudiado colocando el aislamiento hacia la cara interior del cerramiento. Por otro lado la demanda de refrigeración experimenta una pequeña bajada en los primeros aislamiento pero en cuanto pasamos de 16-20cm en ambos casos, la demanda aumenta, por lo que en este clima la mejor solución,sería optar por 16 cm de aislamiento en la cara exterior para cumplir con la normativa española, pero no nos serviría como solución Passivhaus, ya que nos encontramos muy alejados de lo que nos dice el estándar.

⁷⁹Gráfica comparativa de las demandas del modelo B.2. y B.3. en el clima D1.



En el caso del clima D1, perteneciente a Viveiro, Lugo, aunque las demandas de calefacción son considerablemente mayores, necesitamos menos aislamiento para estar dentro de los límites que dicta la normativa española ya que con aproximadamente 9cm de aislamiento hacia el exterior y 16cm hacia el interior estaríamos cumpliendo en cuanto a calefacción. Sin embargo la demanda de refrigeración tiene valores similares al clima C1 y su comportamiento es parecido, experimenta una leve bajada hasta los 16cm y después comienza a subir de forma moderada.



⁸⁰Gráfica comparativa de las demandas del modelo B.2. y B.3. en el clima C1.

En este clima llama la atención la demanda de refrigeración que resulta mucho más elevada que en los otros dos casos y aunque la demanda de calefacción también es mayor no hay tanta diferencia. En este sentido es el caso en el que menos aislamiento necesitamos para cumplir con el CTE DB-HE, ya que con 8cm de aislamiento continuo hacia la cara exterior del cerramiento cumpliríamos y como segunda opción podríamos utilizar 14 cm hacia el interior, sin embargo en cualquier caso estaríamos incumpliendo los 15 Kw.h/m².año de demanda límite de refrigeración.

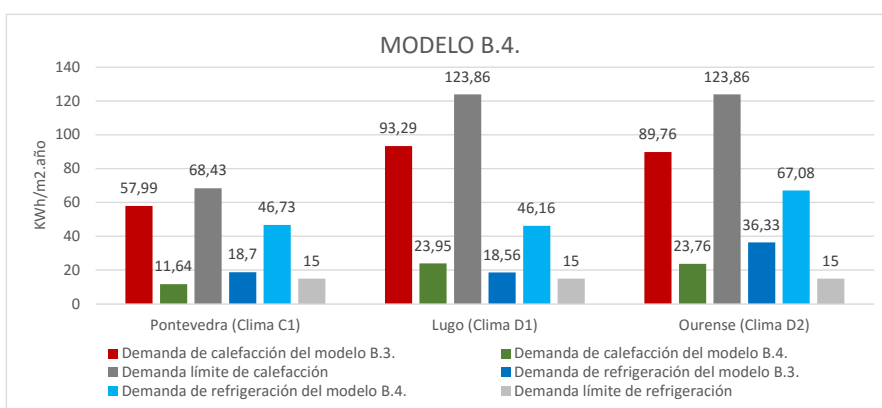
Con este estudio hemos podido descubrir que en cualquier caso la línea de aislamiento continuo hacia la cara exterior del cerramiento es mejor, ya que reduce las demandas considerablemente más que si la colocamos hacia el interior. Esto es debido a que la inercia térmica que se genera en el interior del edificio es mayor y por tanto es más complicado que se produzcan pérdidas térmicas.

Como seguimos estando muy lejos de los objetivos que nos marca el Passivhaus, debemos recurrir a otros métodos de diseño que nos permitan reducir las demandas, tanto de calefacción como de refrigeración.

Realizamos un segundo estudio, cambiando las ventanas por las que nos recomienda el estándar Passivhaus, como en el caso anterior. Para ello utilizamos el modelo más favorable en cada caso, es decir con 28 cm de aislamiento formando una línea continua hacia la hoja exterior del cerramiento, ya que es el único con el que conseguimos los valores de transmitancia límite que nos marca el Passivhaus.

-Modelo B.4. (Ventanas Passivhaus)

⁸¹Gráfica comparativa de las demandas del modelo B.4. y B.3. en el clima C1, D1 y D2.

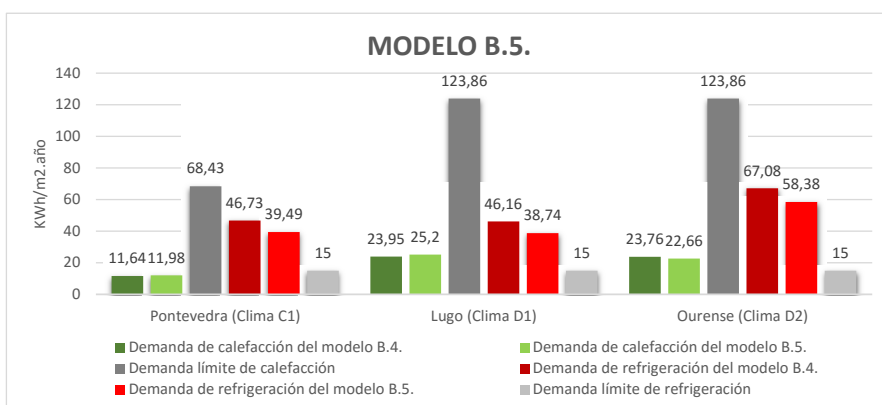


Gracias a este cambio desciende considerablemente la demanda de calefacción del edificio, incluso hasta llegar a conseguir la demanda límite que dice el Passivhaus en el clima C1 y estamos muy cerca en los otros dos casos, sin embargo la demanda de refrigeración ha aumentado excesivamente, alejándonos demasiado de la demanda límite. Por lo tanto necesitamos otras soluciones para corregir esto.

Realizamos un último análisis cambiando la orientación para que coincida con el sur, como en el caso anterior.

-Modelo B.5. (Orientación sur)

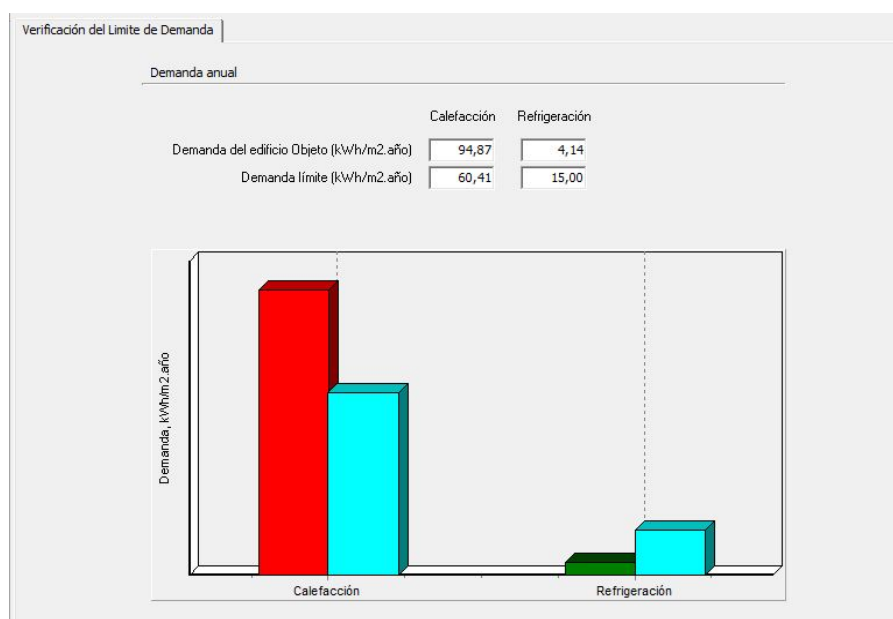
⁸²Gráfica comparativa de las demandas del modelo B.5. y B.4. en el clima C1, D1 y D2.



Conseguimos reducir la demanda de refrigeración sin aumentar apenas la de calefacción, sin embargo no llegamos al límite por lo que sería necesario cambiar las protecciones solares o incluso modificar los huecos para conseguir disminuir la demanda de refrigeración hasta alcanzar el límite.

3.Cálculo del modelo C

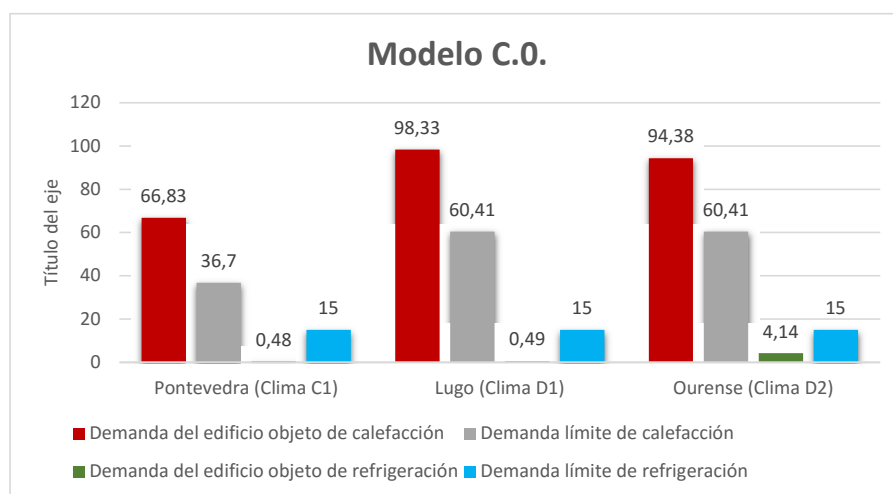
-Modelo C.0. (Estado actual)



^{8.3}Resultados dados por el programa HULC del modelo C en su estado actual.

Vemos como a pesar de que la demanda de refrigeración es muy baja, estamos por encima de los límites de demanda de calefacción, esto es debido principalmente a los pocos huecos de los que dispone la edificación, por lo que aprovechamos poca radiación solar.

Realizamos el cálculo en cada uno de los climas para poder comparar el modelo en distintos lugares, como hemos hecho anteriormente.



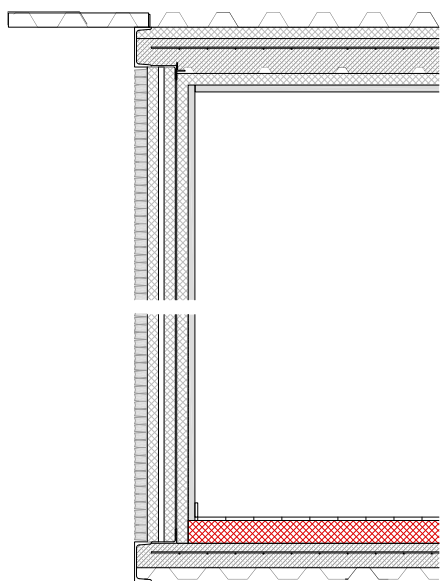
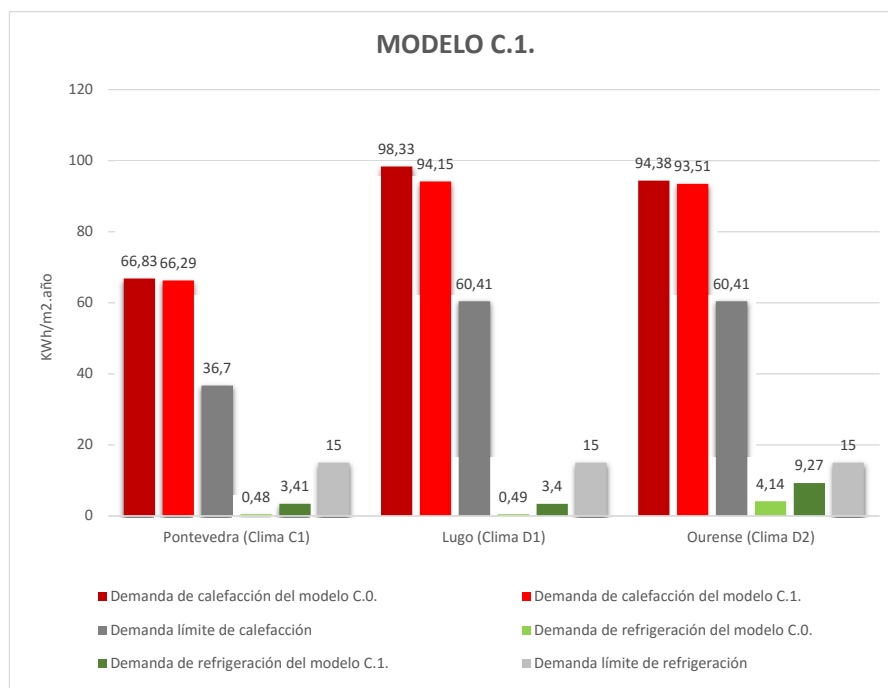
^{8.4}Gráfica comparativa de las demandas del modelo C. en el clima C1, D1 y D2.

En todos los casos a pesar de que las demandas de refrigeración son considerablemente bajas, las demandas de calefacción son excesivamente elevadas en ocasiones alcanzando casi el doble de la demanda límite.

Como en los anteriores casos se realiza un primer análisis añadiendo 8cm de aislamiento en el suelo, ya que como en el modelo original el suelo no se encuentra aislado, hay enormes pérdidas por la superficie en contacto con el suelo. Se decide colocarlo hacia la cara interior del cerramiento del suelo porque de esta forma conseguimos conectarlo con los 4cm de aislamiento continuo que tiene la edificación y se utiliza este espesor porque es el mínimo con el que conseguimos los límites de transmitancia que nos dice el CTE DB-HE. Del mismo modo utilizamos aislamiento de lana de roca para el resto de comprobaciones, ya que en el primer análisis se decidió usar este por sus ventajas, no creemos necesario tener que volver a comprobarlo.

-Modelo C.1. (8cm de aislamiento en el suelo)

⁸⁵Gráfica comparativa de las demandas del modelo C.1. en el clima C1, D1 y D2.



⁸⁶Detalle del modelo C.1. con 8cm de aislamiento en el suelo, realización propia.

Con esto conseguimos que la demanda de calefacción disminuya un poco pero en cambio sube la de refrigeración, por lo que no resulta muy efectiva esta solución. Por lo tanto realizaremos un estudio, del mismo modo que los modelos A y B colocando una línea continua de aislamiento en toda la envolvente y aumentando progresivamente el aislamiento para entender mejor el comportamiento térmico del modelo. De nuevo comenzamos el análisis con 8cm de aislamiento y terminaremos con 28cm, por las razones que ya explicamos previamente. Como en el caso anterior realizaremos un primer estudio con el aislamiento hacia la hoja interior del cerramiento y un segundo con el aislamiento hacia la hoja exterior.

-Modelo C.2. (Aislamiento continuo hacia el interior)

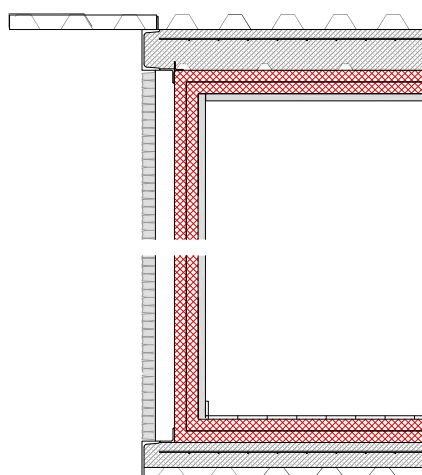


Fig.A 8cm de aislamiento

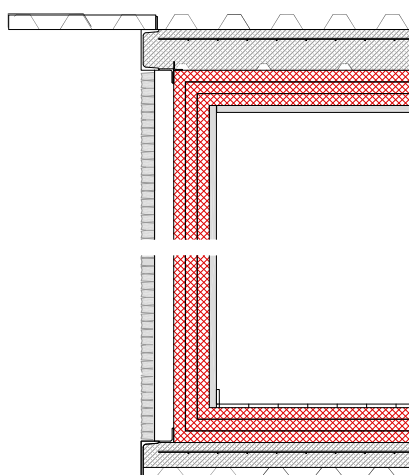


Fig.B 12cm de aislamiento

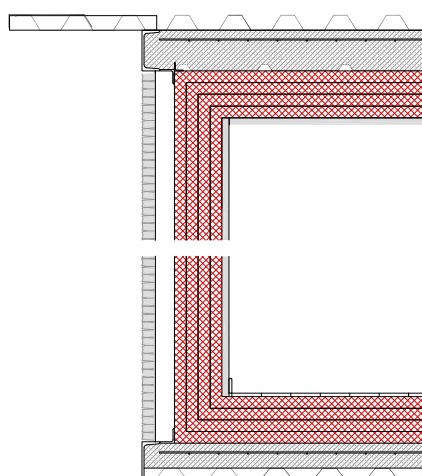


Fig.C 16cm de aislamiento

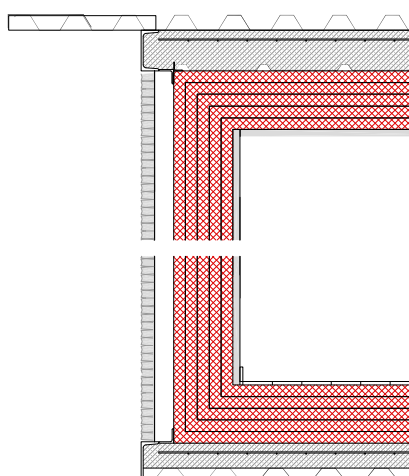


Fig.D 20cm de aislamiento

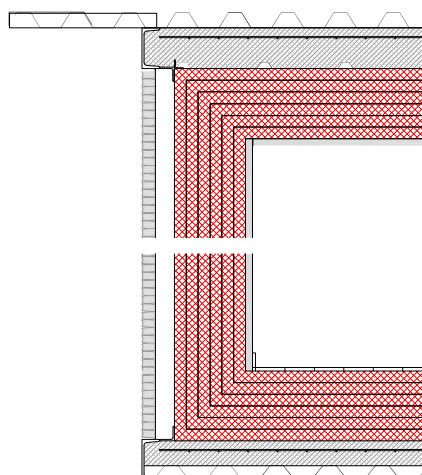


Fig.E 24cm de aislamiento

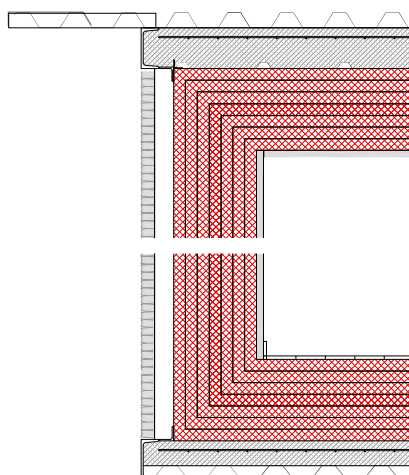


Fig.F 28cm de aislamiento

⁸⁷Detalles constructivos del Modelo C.2., incrementando el aislamiento cada 4cm, realización propia.

-Modelo C.3. (Aislamiento continuo hacia el exterior)

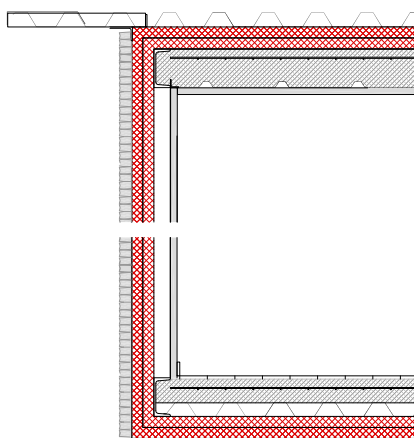


Fig.A 8cm de aislamiento

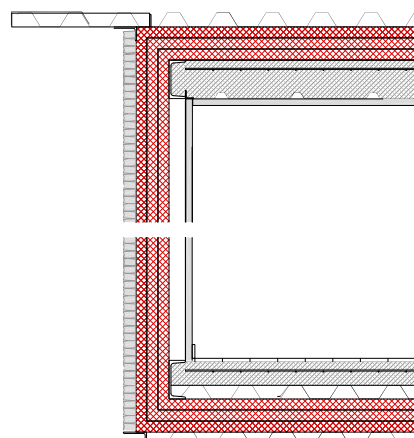


Fig.B 12cm de aislamiento

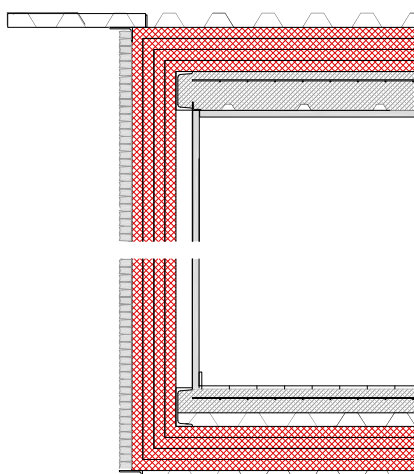


Fig.C 16cm de aislamiento

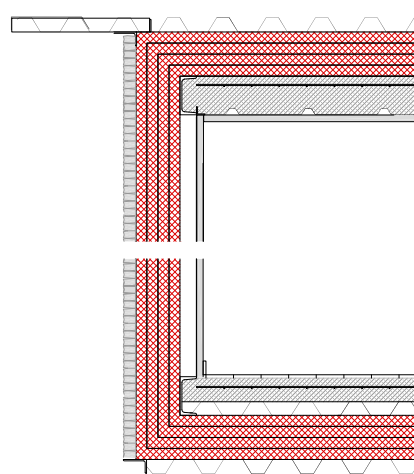


Fig.D 20cm de aislamiento

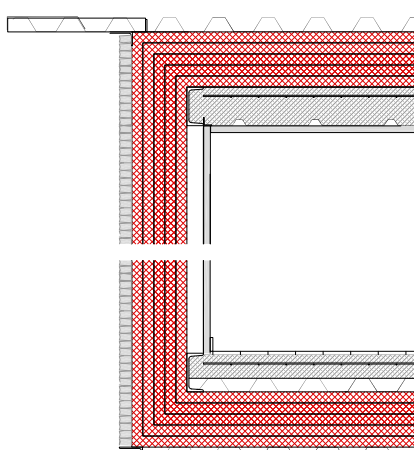


Fig.E 24cm de aislamiento

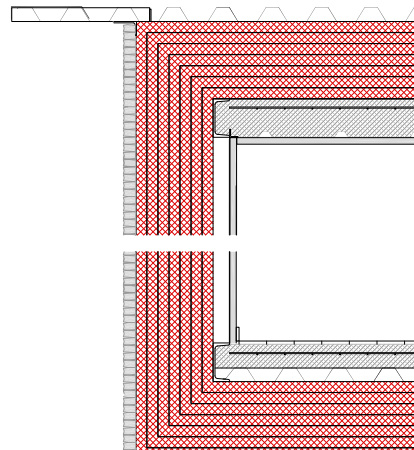
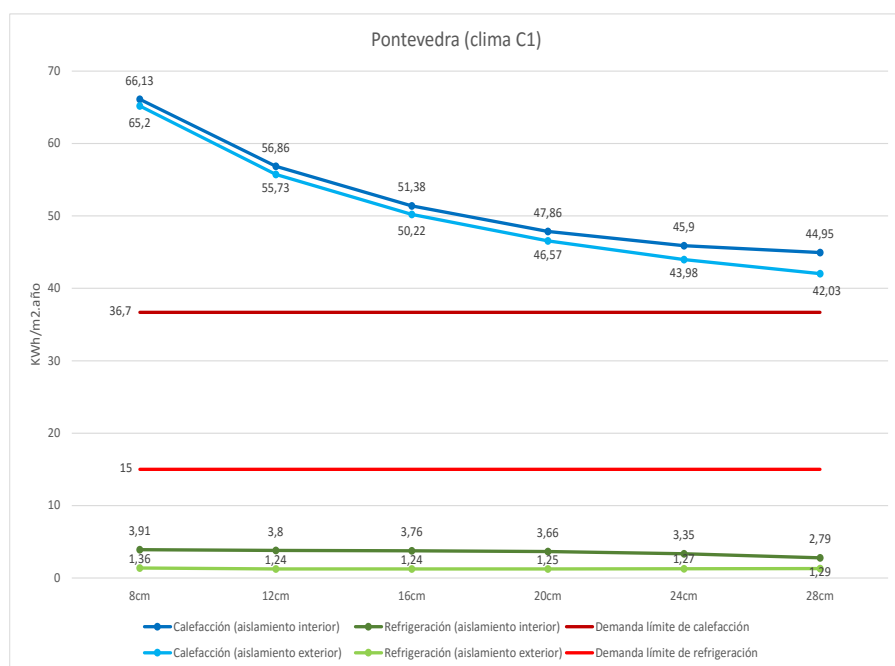


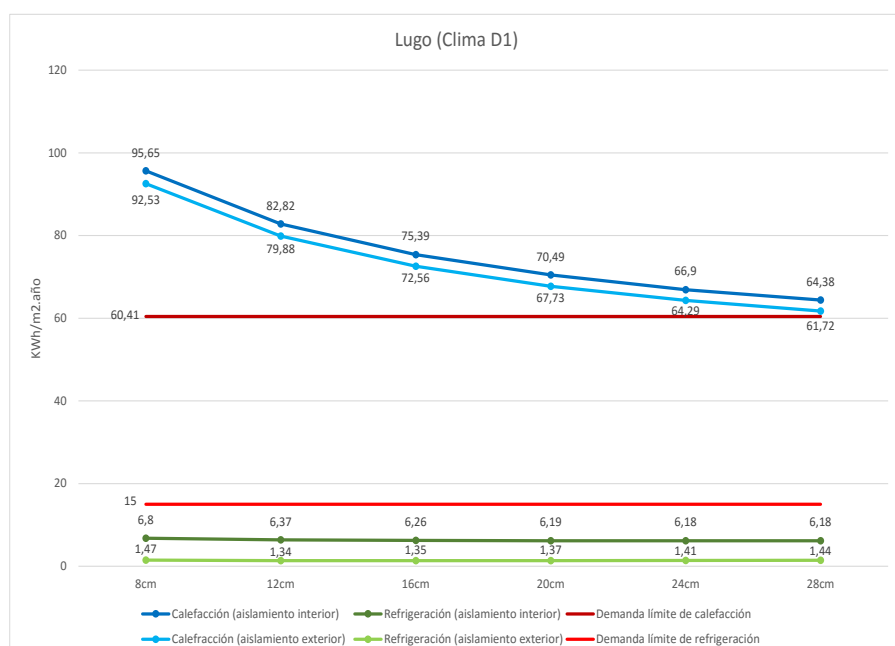
Fig.F 28cm de aislamiento

⁸⁸Detalles constructivos del Modelo C.3., incrementando el aislamiento cada 4cm, realización propia.



⁸⁹Gráfica comparativa de las demandas del modelo C.2. y C.3. en el clima C1.

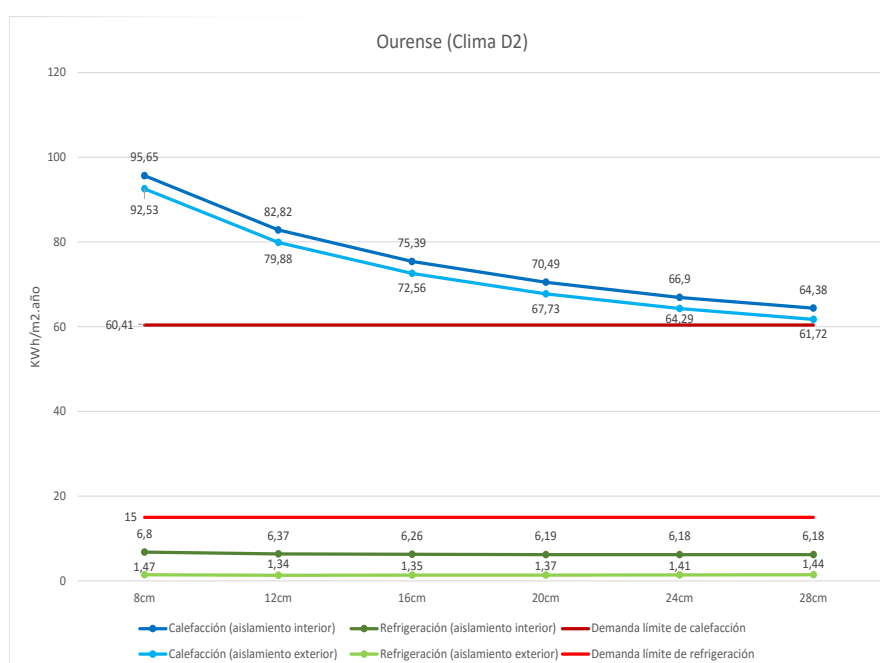
Como vemos en el gráfico a pesar de que hemos aumentado considerablemente el aislamiento, no parece suficiente como para alcanzar la demanda límite y mucho menos como para llegar a los 15 Kw.h/m².año que nos dice el Passivhaus, sin embargo la demanda de refrigeración, aunque haya aumentado respecto del modelo C.0., sigue siendo lo suficientemente baja como para estar dentro de los límites, por lo tanto en esta ocasión únicamente con aislamiento no sería posible llegar a la demanda que nos exigen.



⁹⁰Gráfica comparativa de las demandas del modelo C.2. y C.3. en el clima D1.

En el gráfico anterior vemos como en el clima D1 se repite la misma situación que en clima C1, las demandas de refrigeración son muy bajas pero en cambio las de calefacción no llegan a estar por debajo de los límites de demanda que nos exigen, sea cual sea el aislamiento que hayamos puesto. Aunque en este caso nos encontremos más cerca del límite y probablemente aumentando un poco más el aislamiento cumpliríamos, seguimos estando demasiado lejos del estándar Passivhaus, por lo que necesitaremos otras estrategias de diseño para conseguirlo.

⁹¹Gráfica comparativa de las demandas del modelo C.2. y C.3. en el clima D2.

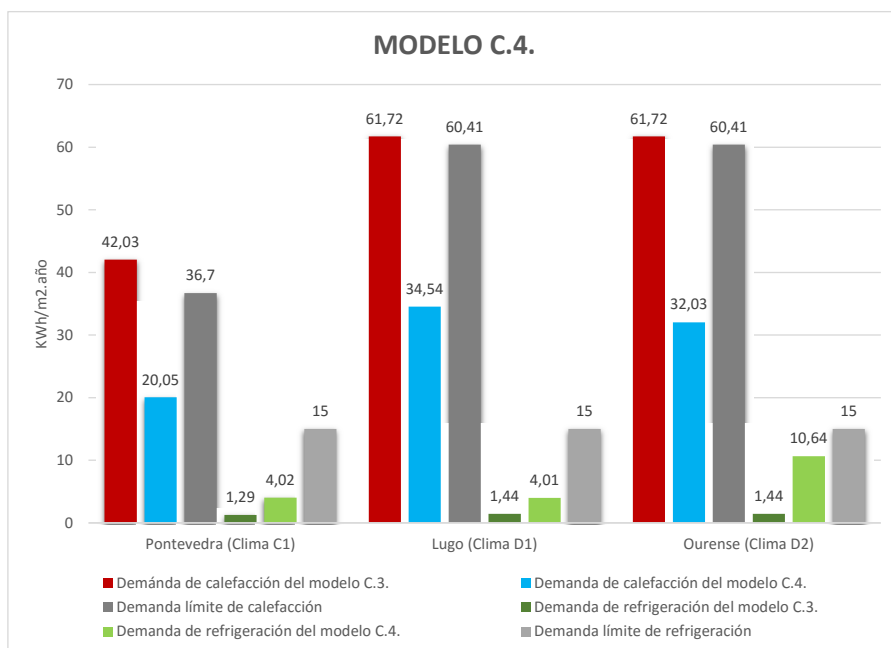


Vemos como de nuevo en el clima D2 pasa lo mismo que en los otros dos anteriores, incluso las demandas son muy similares a las que resultan en el clima D1.

Por lo tanto en todos los casos las demandas de refrigeración se encuentran muy por debajo de las exigidas tanto por la normativa española como por el estándar Passivhaus y sin embargo en todos los casos no cumplimos con los límites impuestos por ambas normativas. Esto nos hace confirmar lo que pensábamos al principio del estudio, que el hecho de que esta edificación disponga de pocos huecos, hace que aprovechemos poco la radiación solar, por lo que debemos recurrir a otros cambios en el modelo para conseguir nuestros objetivos.

Por lo tanto, se decide analizar el modelo C cambiando las ventanas, como ya hicimos con los otros dos modelos, por unas carpinterías específicas para Passivhaus, reduciendo de esta forma las pérdidas térmicas que se puedan ocasionar a través de ellas, para ello se utiliza el modelo más favorable, que como en todos los casos es el modelo C.3. con aislamiento de 28cm hacia la hoja exterior del cerramiento y los compararemos entre ellos para ver como varía la demanda.

-Modelo C.4. (Ventanas passivhaus)



⁹²Gráfica comparativa de las demandas del modelo C.4. y C.3. en el clima C1, D1 y D2.

Como vemos, con esta solución reducimos considerablemente la demanda de calefacción, siendo este caso con el que más cerca nos encontramos de alcanzar el estándar Passivhaus, de hecho la demanda de refrigeración es tan baja que llegamos a los límites que nos establece.

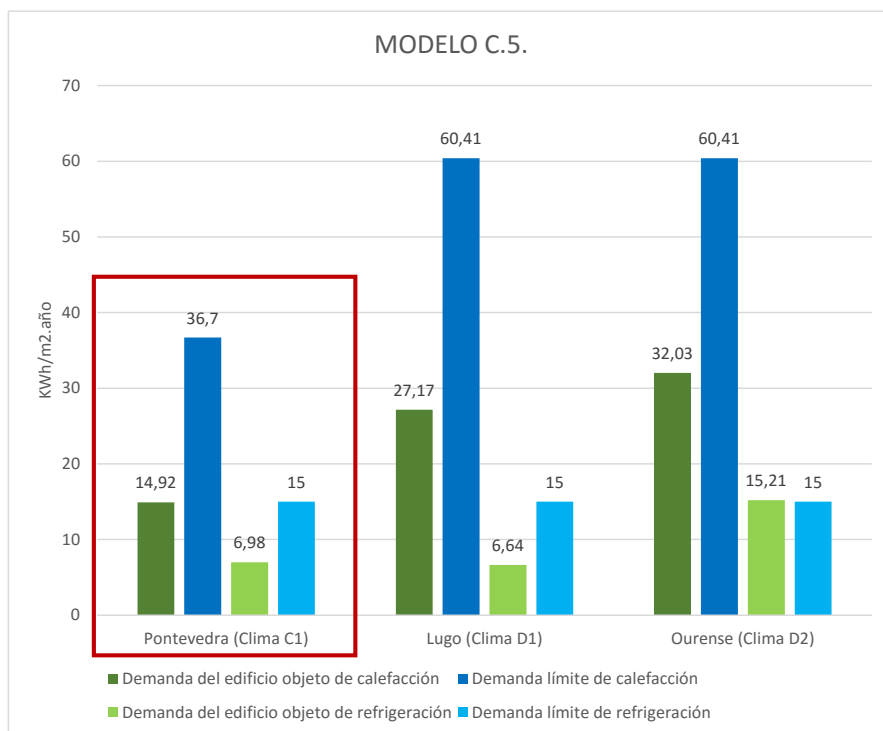
Ya que la demanda de calefacción sigue estando por encima de los límites, podríamos optar por aumentar el aislamiento, aunque necesitaríamos demasiado para conseguir bajar de los 15 Kw.h/m².año o sino podríamos cambiar el diseño de los huecos o de las protecciones solares para aprovechar mejor la radiación solar. De nuevo queda constancia que estos problemas deben ser resuelto desde punto inicial de diseño.

Como este modelo ya se encuentra orientado hacia el sur, prescindimos del último análisis que hemos realizado a los anteriores modelo cambiando su orientación, sin embargo en este caso, al encontrarnos tan cerca de alcanzar las demandas de Passivhaus realizaremos un último análisis en el que añadiremos dos ventanas más en la fachada sur de la edificación del mismo tamaño que las existentes y junto a estas.

Utilizamos para el análisis el modelo C.4. que dispone de ventanas especiales Passivhaus y una línea continua de aislamiento colocada en su hoja exterior del cerramiento.

-Modelo C.5. (Cambio de huecos)

⁹³Gráfica comparativa de las demandas del modelo C.5. y C.4. en el clima C1, D1 y D2.



Gracias a todos los análisis y cambios que hemos realizado al modelo, hemos conseguido que finalmente cumpla con las exigencias de demanda que nos dice el estándar Passivhaus pero únicamente en el clima C1 que es el menos severo, por lo que para alcanzarlo del mismo modo en los otros dos climas sería necesario seguir estudiándolos y modificando sus características hasta conseguirlo.

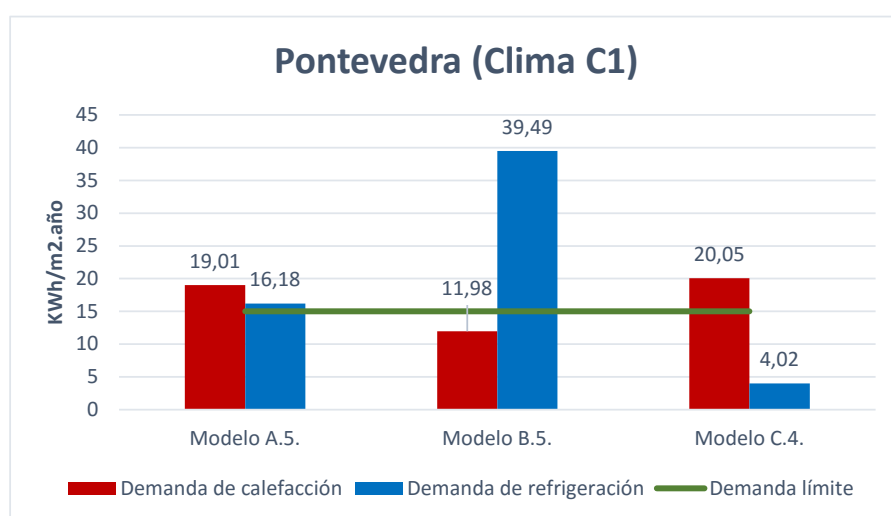
No debemos olvidar que si queremos una construcción Passivhaus no sirve únicamente con que las demandas se encuentren por debajo de los 15Kw.h/m².año para calefacción y refrigeración, sino que además debe cumplir otros requisitos, como que esta demanda sea satisfecha únicamente con el sistema de ventilación, pero sin duda este es un buen comienzo para conseguir nuestro objetivo.

CONCLUSIONES

Para finalizar este trabajo compararemos los 3 modelos (A.5., B.5. y C.4.) tras realizarles las mismas modificaciones, en cada uno de sus climas para poder sacar conclusiones sobre cuál de ellos funciona mejor conforme al estándar Passivhaus en cada situación y cuales son los motivos.

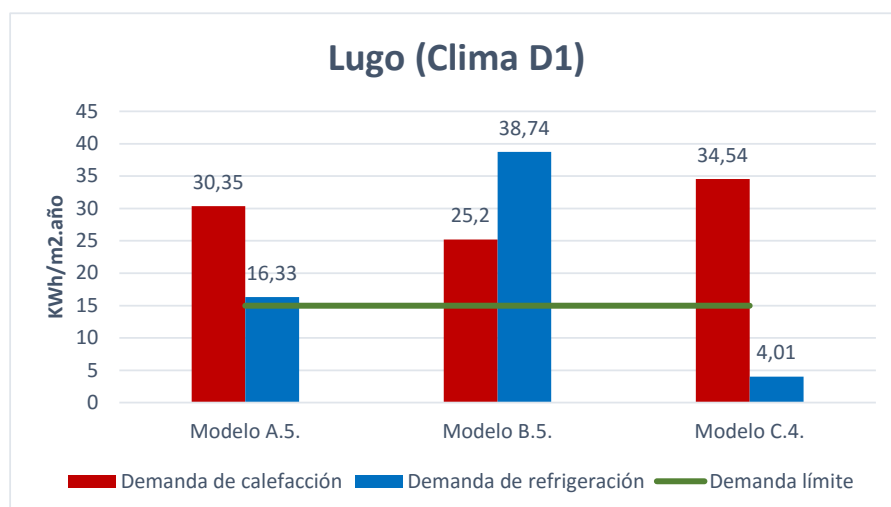
Para poder realizar esta comparación, se han utilizado los valores de demanda separados, como si se tratara de un edificio residencial.

⁹⁴Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.5. B.5. y C.4. en el clima C1.



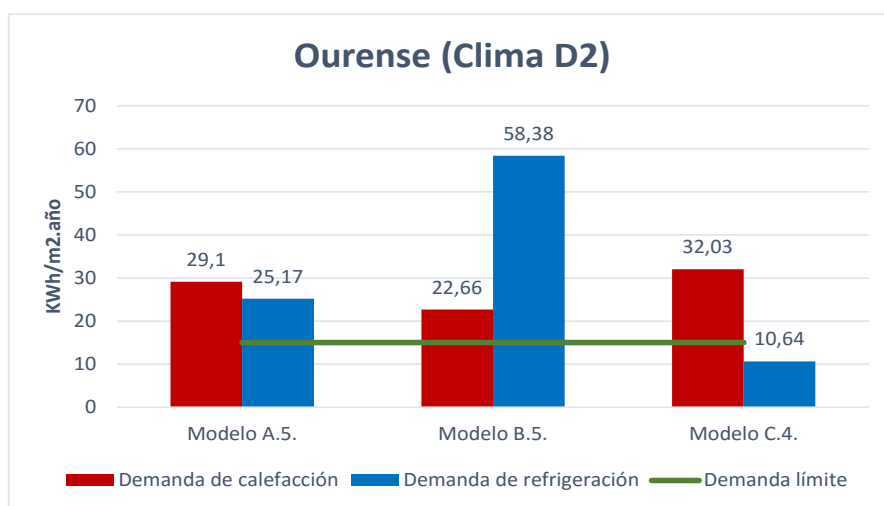
A pesar de que la demanda de calefacción del modelo B se encuentra por debajo de la demanda límite, claramente es el más desfavorable ya que los modelo A y C se encuentran apenas a unos 5-6Kw.h/m².año por encima de lo exigido, que probablemente si realizáramos algunas modificaciones más lo conseguiríamos.

⁹⁵Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.5. B.5. y C.4. en el clima D1.



En este caso del mismo modo que antes el modelo B es el más desfavorable y los otros dos modelos se encuentran muchos más próximos a alcanzar las exigencias, sin embargo las demandas en general son considerablemente mayores que en el clima anterior.

⁹⁶Gráfica comparativa de las demandas del modelo A.5. B.5. y C.4. en el clima D2.



Por último en el clima D2 las demandas no son muy diferentes a las del caso anterior aunque sí se puede ver como hay un aumento en general. Una vez más como pasa en los casos anteriores el modelo B es el más desfavorable y los modelos A y C se encuentran más cerca de cumplir el Passivhaus, además sorprende la demanda de refrigeración del modelo A que es muy elevada, debido a los grandes huecos y el mal diseño de sus protecciones.

Tras todos estos estudios sabemos que realmente el modelo C es el que originalmente tenía un diseño más adecuado para convertirse en un edificio Passivhaus, principalmente por su bajo valor de compacidad, que destacaba en comparación con las otras dos edificaciones además de por su orientación principal al sur.

Sin embargo el modelo A era el que mejor diseñado estaba para cumplir con las exigencias a las que se le exponía en el momento de construcción y en ambos casos el diseño de los huecos era mucho más acertado que en el modelo B, sin llegar a estar completamente bien en ninguno de los prototipos.

Como ya dijimos al principio del trabajo, el tema de los huecos y de las protecciones de estos, es tan complejo que para saber si realmente el diseño es el adecuado es necesario el uso de herramientas informáticas para su comprobación, como la empresa no disponía de estas herramientas en el momento en el que se construyeron los prototipos, la colocación de los voladizos que protegían las ventanas no era el adecuado, como hemos comprobado.

Además hemos llegado a la conclusión de que el modelo B es el prototipo que peor responde a las exigencias de los tres, principalmente por su reducido tamaño y por sus huecos tan grandes, por lo que aconsejamos que este diseño se descarte, para no seguir trabajo con él.

Por contra el modelo C parece el más adecuado de los tres para continuar mejorándolo y poder llegar a una solución constructiva que concilie el buen diseño arquitectónico con la construcción pasiva.

También hemos podido comprobar como el hecho de que la edificación no esté aislada en toda su envolvente afecta muy perjudicialmente al comportamiento térmico del mismo, cuantificando las pérdidas en valores de demanda anual

que pueden llegar incluso hasta los 20 Kw.h/m².año, valor que supone dos tercios de la demanda máxima anual permitida por el estándar.

Además hemos podido justificar que la misma solución constructiva no funciona bien para todos los climas, únicamente realizando el estudio dentro de Galicia, por lo que si lo ampliáramos, las diferencias serían mucho mayores.

A pesar de la importancia que tiene el confort térmico interior de un edificio, en general en nuestro país aun nos encontramos muy lejos de conseguirlo con una demanda casi nula y debemos pensar que es un tema que hay que resolver cuanto antes, bien sea por nuestro propio interés o porque las normativas europeas nos lo exigen.

Además es imprescindible seguir investigando de forma mucho más exhaustiva, ya que como hemos podido comprobar con este estudio es realmente complicado alcanzar estos propósitos recurriendo únicamente a estrategias tradicionales. Tanto es así que sólo hemos sido capaz de alcanzar el estándar en uno de los modelos y de forma muy ajustada. Es necesario reducir mucho más la demanda, no podemos quedarnos justo en los 15 Kw.h/m².año ya que llegará el día en que se precise que el consumo sea nulo.

Como conclusión final podemos decir, que tras todo este estudio, queda muy patente la importancia que tiene el hecho de diseñar la edificación teniendo en cuenta su comportamiento energético, es decir, debemos entender este aspecto como una parte fundamental del diseño arquitectónico del edificio, tan importante como la forma, la estructura o la construcción del mismo.

Lineas de futuro desarrollo

Como dijimos en la introducción de este trabajo, toda esta investigación sigue una línea de desarrollo mucho más amplia y que deberá completarse en un futuro, por lo tanto tras concluir con mi parte, creo necesario realizar un estudio más a fondo sobre distintos aspectos de las construcciones prefabricadas, modulares e industrializadas de metal. Como pueden ser temas estructurales, constructivos, de instalaciones, o de ensamblaje y transporte. Además dentro del tema de la construcción pasiva quedan muchos aspectos que estudiar:

Un tema interesante sería investigar sobre posibles aislamientos ecológicos que supongan una diferencia con respecto a los convencionales, como pueden ser los fabricados con celulosa o con fibras de cáñamo.

Aunque en este estudio se ha trabajado con 3 prototipos, podríamos centrarnos únicamente en el diseño, a modo experimental, para saber que diseños formales funcionan mejor.

Por otro lado es importante también continuar esta investigación en el resto de climas de España y de Europa ya que en este trabajo solo se han considerado tres climas de Galicia, lo que supone un parte muy pequeña del ámbito total.

El diseño de los huecos se podría estandarizar para entender mejor que tipología funciona mejor en cada tipo de clima o con cada orientación.

Podríamos incluso a estudiar que influencia pueden tener los acabados en el comportamiento energético del edificio.

En definitiva, debemos seguir investigando para poder encontrar soluciones que nos permitan construir mejor y generar espacios en los que podamos vivir respetando el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Información facilitada por la empresa Promeral Tecnología e Innovación S.L.
- WASSOUF, Micheel, *“De la casa pasiva al estándar Passivhaus”*, Gustavo Gili SL, Barcelona, 2014
- <http://www.casasprefabricadasymodulares.com/2014/03/casas-modulares-viviendas-adaptadas-la.html>, visto en 26 de octubre de 2015
- <http://demaderayluz.blogspot.com.es/> , visto el 30 de octubre de 2015
- <http://auresingenieros.com/origen-del-certificado-de-eficiencia-energetica/>, visto el 14 de noviembre de 2015
- <http://www.pasarlaite.com/origen-y-desarrollo-del-certificado-energetico/>, visto el 21 de noviembre de 2015
- <http://a-eficiencia-energetica.es/origen-certificado-energetic/>, visto el 21 de noviembre de 2015
- https://prezi.com/nnmiwn_7st0k/casas-modulares-de-calidad-social/, visto el 22 de noviembre de 2015
- <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/8398/Evoluci%F3n+de+los+sistemas+de+construcci%F3n+industrializados+a+base+de+elementos+prefabricados+de+hormig%F3n.pdf;jsessionid=1CF546579EE25DFDF5DA953C869C4B9C?sequence=1>, visto el 25 de noviembre de 2015
- <http://www.arqpress.net/index.php/paginas/ver/219>, visto el 25 de noviembre de 2015
- <http://www.construction21.org/espana/articulos/es/los-edificios-con-certificado-minergie-publicados-en-construction21.html>, visto el 30 de noviembre de 2015
- <http://abcmodular.com/arquitectura-industrializada-historia-1>, visto el 30 de noviembre de 2015

RELACIÓN DE IMÁGENES

- Img.1: Prometal Tecnología e Innovación, prototipo realizado por la empresa, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.2: Prometal Tecnología e Innovación, Nave de Prometal en el polígono industrial de As Pontes, 2005, Vilagarcía, <http://www.prometal.es/>
- Img.3: Prometal Tecnología e Innovación, Oficina técnica de Prometal en calle Orzán 206-208, A Coruña, 2005, <http://www.prometal.es/>
- Img.4: H. Manning, casa Manning Cottage portátil, 1833, <http://quonset-hut.blogspot.com.es/2012/12/the-manning-portable-colonial-cottage.html>
- Img.5: Catálogo de Sears Roebuck and Co, 1927, <http://www.casasprefabricadasymodulares.com/2014/03/casas-modulares-viviendas-adaptadas-la.html>
- Img.6: Frank Lloyd Wright, Tres de las casas diseñadas con el sistema The American System-built Houses ubicadas en el distrito de Burnham, 1911-1917, https://en.wikipedia.org/wiki/American_System-Built_Homes
- Img.7: Walter Gropius, Casa prefabricada número 16 diseñada para exposición de la vivienda en Stuttgart, 1927, http://www.urbipedia.org/index.php?title=Dos_casas_prefabricadas_en_la_Colonia_Weissenhof
- Img.8: Walter Gropius, Casa prefabricada número 17 diseñada para exposición de la vivienda en Stuttgart, 1927, http://www.urbipedia.org/index.php?title=Dos_casas_prefabricadas_en_la_Colonia_Weissenhof
- Img.9: Le Corbusier, segunda propuesta de la Maison Citrohan, 1920, <http://tecnne.com/arquitectura/le-corbusier-casas-citrohan/>
- Img.10: Le Corbusier, casa Domino, 1914-1915, <http://revistacruce.com/politica-y-sociedad/item/1695-la-piel-que-no-habito>
- Img.11: Le Corbusier, casa Monol, 1919, <http://www.ncmodernist.org/lecorbusier.htm>
- Img.12: Creación propia, gráfico de dependencia energética de los países de la Unión Europea en el año 2015, <http://www.pasarlaite.com/origen-y-desarrollo-del-certificado-energetico/>
- Img.13: Passivhaus Institiud, imagen de los 5 principios básicos del passivhaus, <http://baransu.net/wp-content/uploads/2014/02/5-principios-de-baransu.png>
- Img.14: Micheel Wassouf, ejemplo de compacidades variables con el mismo volumen interior, "De la casa pasiva al estándar Passivhaus" Gustavo Gili
- Img.15: Prometal Tecnología e Innovación, Imagen general del Modelo A, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.16: Prometal Tecnología e Innovación, imagen general del Modelo A, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.17: José Manuel Bermúdez Graíño, plano de situación del modelo A, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.18: Prometal Tecnología e Innovación, imagen general del Modelo A, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.19: Prometal Tecnología e Innovación, imagen interior del módulo de trabajo, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.20: José Manuel Bermúdez Graíño, planta del modelo A, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.21: José Manuel Bermúdez Graíño, alzado frontal, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.22: José Manuel Bermúdez Graíño, alzado posterior, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.23: José Manuel Bermúdez Graíño, sección a-a', 2011, información aportada por la empresa.

- Img.24: José Manuel Bermúdez Graíño, sección b-b',2011, información aportada por la empresa.
- Img.25: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del modelo A en construcción en el taller, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.26: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del modelo A en construcción en el taller, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.27: Creación propia, detalle constructivo de la fachada lateral, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.28: Creación propia, detalle constructivo de la fachada frontal, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.29: Prometal Tecnología e Innovación, imagen de la estructura del módulo de trabajo, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.30: Prometal Tecnología e Innovación, imagen de la estructura del módulo de vestuarios, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.31: Prometal Tecnología e Innovación, imagen de la estructura del módulo de carga, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.32: Prometal Tecnología e Innovación, imagen de las estructuras del modelo A, 2011, información aportada por la empresa.
- Img.33: Prometal Tecnología e Innovación, imagen general del modelo B, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.34: Prometal Tecnología e Innovación, imagen general del modelo B, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.35: Creación propia, plano de situación del modelo B, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.36: Creación propia, planta del modelo B, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.37: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del modelo B terminado en taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.38: Prometal Tecnología e Innovación, Imagen del modelo B terminado en taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.39: Creación propia, alzado A del modelo B terminado en taller, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.40: Creación propia, alzado B del modelo B terminado en taller, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.41: Creación propia, alzado C del modelo B terminado en taller, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.42: Creación propia, alzado D del modelo B terminado en taller, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.43: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del modelo B en construcción en taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.44: Prometal Tecnología e Innovación, imagen de la estructura del modelo B, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.45: Prometal Tecnología e Innovación, estructura del modelo B, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.46: Creación propia, detalle constructivo de la fachada de madera, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.47: Creación propia, detalle constructivo de la fachada de piedra, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.48: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del modelo C en construcción en el taller, 2012, información aportada por la empresa.

- Img.49: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del modelo C en construcción en el taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.50: Creación propia, planta del modelo C, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.51: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del modelo C en construcción en el taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.52: Prometal Tecnología e Innovación, imagen del interior del modelo C en construcción en el taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.53: Creación propia, alzado oeste del modelo C, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.54: Creación propia, alzado este del modelo C, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.55: Creación propia, alzado sur del modelo C, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.56: Creación propia, alzado norte del modelo C, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.57: Creación propia, detalle constructivo de la fachada del modelo C, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.58: Prometal Tecnología e Innovación, imagen de la estructura del modelo C en construcción en el taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.59: Prometal Tecnología e Innovación, estructura del modelo C en construcción en el taller, 2012, información aportada por la empresa.
- Img.60: Creación propia, resultados de demanda del modelo A en su estado actual, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.61: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.62: Creación propia, resultados de demanda del modelo A con uso residencial, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.63: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A.1. con el modelo A.0. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.64: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A.2. en el clima C1, D1 y D2. en su estado actual, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.65: Creación propia, detalle constructivo del modelo A.2., 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.66: Creación propia, detalles constructivos del modelo A.3. incrementando el aislamiento cada 4cm, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.67: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A.3. en el clima C1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.68: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A.3. en el clima D1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.69: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A.3. en el clima D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.70: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A.4. con el modelo A.0. y A.3. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.71: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo A.5. con el modelo A.0. y A.4. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).

- Img.72: Creación propia, resultados de demanda del modelo B en su estado actual, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.73: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo B en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.74: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo B.1. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.75: Creación propia, detalle constructivo del modelo B.2., 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.76: Creación propia, detalles constructivos del modelo B.2. incrementando el aislamiento cada 4cm, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.77: Creación propia, detalles constructivos del modelo B.3. incrementando el aislamiento cada 4cm, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.78: Creación propia, gráfica comparativa del modelo B.2. y B.3. en el clima C1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.79: Creación propia, gráfica comparativa del modelo B.2. y B.3. en el clima D1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.80: Creación propia, gráfica comparativa del modelo B.2. y B.3. en el clima D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.81: Creación propia, gráfica comparativa del modelo B.3. y B.4. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.82: Creación propia, gráfica comparativa del modelo B.4. y B.5. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.83: Creación propia, resultados de demanda del modelo C en su estado actual, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.84: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo C en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.85: Creación propia, gráfica comparativa de las demandas del modelo C.1. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.86: Creación propia, detalle constructivo del modelo C.1., 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.87: Creación propia, detalles constructivos del modelo C.2. incrementando el aislamiento cada 4cm, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.88: Creación propia, detalles constructivos del modelo C.3. incrementando el aislamiento cada 4cm, 2015-2016, información aportada por la empresa.
- Img.89: Creación propia, gráfica comparativa del modelo C.2. y C.3. en el clima C1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.90: Creación propia, gráfica comparativa del modelo C.2. y C.3. en el clima D1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.91: Creación propia, gráfica comparativa del modelo C.2. y C.3. en el clima D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.92: Creación propia, gráfica comparativa del modelo C.4. y C.3. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.93: Creación propia, gráfica comparativa del modelo C.5. y C.4. en el clima C1, D1 y D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.94: Creación propia, gráfica comparativa del modelo A.5., B.5. y C.4. en el clima C1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.95: Creación propia, gráfica comparativa del modelo A.5., B.5. y C.4. en el clima D1, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).
- Img.96: Creación propia, gráfica comparativa del modelo A.5., B.5. y C.4. en el clima D2, 2015-2016, Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC).