



Grado en Fundamentos de Arquitectura

**SOLUCIONES DE ENVOLVENTES VERTICALES PASIVAS PARA  
EL CONCURSO SOLAR DECATHLON EUROPA 2019.  
EFICIENCIA ENERGÉTICA Y CONFORT.**

Autor: Gonzalo Amaro Márquez

Tutor: Rafael Suárez Medina

Grupo: TFG-B.1: Construcciones Arquitectónicas

TFG-B: Construcciones Arquitectónicas-Ingeniería del Terreno-Estructuras de la Edificación  
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla  
Curso 2017-2018

## ÍNDICE:

1.Introducción.....	2-3
2.Objetivos.....	3
3.Metodología.....	4-5
4.Estado del arte.....	5-23
4.1. Definición concurso Solar Decathlon.	
4.2. Bases concurso SD EUROPA 2019: Szentendre, Hungría.	
4.3. Envolventes verticales en <a href="#">Solar Decathlon Europe 2014</a> : Versalles, Francia.	
4.3.1. Descripción geométrica de los proyectos.	
5. Caso de estudio.....	24-52
5.1. Condiciones climáticas en Szentendre, Hungría.	
5.2. Definición y caracterización del caso de estudio. Celda de ensayo.	
5.3. Evaluación de soluciones de envolventes verticales más relevantes.	
6. Propuesta.....	53-58
7.Conclusiones.....	59-60
8. Ideas para ampliar el trabajo desarrollado.....	61
9. Bibliografía.....	62-66

## 1.Introducción.

Hoy en día, cada vez son más las exigencias medioambientales que se plantean en el campo de la arquitectura y de la construcción. Gracias a los nuevos desarrollos tecnológicos y a la amplia posibilidad que ofrece el mercado de nuevos elementos constructivos, se pretende dejar de lado las soluciones constructivas tradicionales para mejorar así la calidad de vida en cuanto a dos aspectos principales: condiciones energéticas y confort térmico.

Teniendo en cuenta el camino hacia el que nos dirigimos en el ámbito de la arquitectura y sobre todo en el de la construcción, este Trabajo Fin de Grado se desarrolla principalmente para el análisis y el estudio de la importancia que tienen las envolventes verticales actuando de manera pasivas para controlar las condiciones climáticas que queremos establecer en el interior de los diferentes edificios. Para realizar dicho análisis y partir de una base, contaremos con toda la información del concurso de hábitat sostenible para estudiantes universitarios más relevante del mundo. Este concurso se lleva realizando durante varios años cada cierto tiempo y se trata de una competición abierta para universidades de todo el mundo con la colaboración de instituciones y la ayuda de empresas privadas para poner en funcionamiento un prototipo con un nivel máximo de autosuficiencia, además de un coste óptimo y de su puesta en funcionamiento.

Son varias las ediciones del concurso que se han llevado a cabo durante estos años, por lo que únicamente se tomará como base la edición anterior celebrada en 2014 que tuvo lugar en la ciudad de Versalles, Francia. Esta elección no es aleatoria, sino que se ha realizado con vistas a su próxima edición en Europa, en la que actualmente está participando la Universidad de Sevilla. Esta nueva edición tendrá lugar en la ciudad de Szentendre, Hungría, durante el mes de junio de 2019. En diciembre de 2017, la Universidad de Sevilla fue elegida finalmente como una de las 20 universidades que competirían en esta nueva edición tras haber presentado una propuesta previa al jurado de la competición y superar la primera fase de eliminación. Este concurso dura dos años desde la apertura de su inscripción y concluye con la exposición final de los 20 prototipos durante 10 días en la ciudad elegida para ello. Además, cada prototipo se está sometiendo a las pruebas de la competición durante esos 10 días y al mismo tiempo están siendo visitados por el público.

En el desarrollo del trabajo se hará un estudio rápido de cada uno de los prototipos de la edición de 2014 en Versalles y finalmente se analizarán pormenorizadamente varios de aquellos prototipos cuyas puntuaciones en una de las pruebas más interesantes para este Trabajo Fin de Grado, como es la de Condiciones de Confort, hayan sido altas y relevantes. Se caracterizarán las diferentes envolventes de los prototipos elegidos

finalmente y se estudiarán las características de cada material por el que están compuestas. Seguidamente, se hará una evaluación energética con la ayuda del software informático DesignBuilder, el cual permite a través de un modelo virtual realizar una simulación y obtener los diferentes resultados para evaluar cada una de las envolventes de manera precisa.

Todo este análisis se realiza con una finalidad, y es la de proponer una nueva envolvente compuesta por los materiales cuyos resultados hayan sido más favorables para las condiciones de confort que se pretenden conseguir en el interior del prototipo. Para poder ser crítico y poder valorar los diferentes resultados, se debe implantar anteriormente una serie de condiciones en las que basarse y que nos aporten la información mediante valores numéricos, los cuales podemos controlar a través de las diferentes soluciones de envolventes verticales pasivas. A consecuencia de esto y teniendo en cuenta que la Universidad de Sevilla está trabajando en un proyecto para el próximo concurso Solar Decathlon Europa de 2019, que se celebrará en Szentendre, Hungría, se tomarán como base las diferentes normas y condiciones de las pruebas relacionadas con la eficiencia energética y el confort.

## 2. Objetivos.

El objetivo principal del Trabajo Fin de Grado es la propuesta de una envolvente a través de diferentes estrategias de soluciones de envolventes verticales pasivas que sirvan como principio para el equipo de la Universidad de Sevilla que actualmente está desarrollando el prototipo que presentará en el concurso Solar Decathlon Europa 2019. Estas estrategias se basarán en la mejora de la eficiencia energética y el confort a partir de un análisis y estudio previo de las envolventes propuestas en los prototipos presentados por los diferentes equipos en la edición anterior de Solar Decathlon Europa de 2014, que tuvo lugar en la ciudad de Versalles, Francia.

Como objetivos específicos se plantean:

- 1 - Estudiar las condiciones del concurso de Solar Decathlon Europa 2019.
- 2 - Estudiar las soluciones de envolventes verticales presentadas en la edición de Solar Decathlon Europa de 2014.
- 3 - Evaluar las condiciones de confort interior que aportan las soluciones de envolventes más relevantes estudiadas anteriormente..
- 4 - Proponer una solución de fachada que sea energéticamente eficiente y que garanticen unas adecuadas condiciones de confort interior para el concurso Solar Decathlon Europa 2019.

### 3. Metodología

Antes de realizar el estudio de cada una de las envolventes de los diferentes prototipos, se debe estudiar todas y cada una de las bases del concurso SD EUROPA 2019 obtenidas de su página web principal: <https://www.solardecathlon.gov>. Una vez analizada las bases y las pruebas que determinan la puntuación para la clasificación del concurso, se elegirán todas las pruebas relacionadas con la eficiencia energética de la envolvente para estudiar más a fondo cada una de ellas, ya que el objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es proponer estrategias de soluciones pasiva de envolventes de cara al prototipo que está desarrollando la Universidad de Sevilla para dicho concurso. Teniendo en cuenta que la forma de evaluar se realiza de forma diferente según cada una de ellas, se tomarán aquellas pruebas en las que se pueda controlar la puntuación mediante la envolvente de manera pasiva y serán las pruebas a tener en cuenta para una posterior comparación entre las envolventes de los prototipos y la aportación de nuevas estrategias de soluciones de envolventes pasivas a partir de dicha comparación.

Una vez realizado este estudio previo del SD EUROPA 2019, se representará gráficamente cada uno de los prototipos más relevantes en cuanto a puntuación de las pruebas relacionadas con la eficiencia energética y las condiciones de confort. Además, se detallarán las soluciones de envolventes verticales que definían cada uno de ellos en la edición anterior de Solar Decathlon Europa de 2014.

Esta representación, se desarrollará en primer lugar mediante una infografía del prototipo y posteriormente se representará gráficamente los diferentes planos de plantas, alzados y secciones para la comprensión general de cada proyecto. En segundo lugar, se representará gráficamente de manera más pormenorizada cada una de las envolventes principales que definen cada prototipo enfocándose en sus capas, tanto el espesor de cada una de ellas como el material que las define, lo que ayudará a su posterior análisis comparativo a través de los datos obtenidos por el software informático DesignBuilder versión 5.0.1.024.

Uno de los procedimientos principales de este trabajo para un estudio adecuado de cada una de las envolventes que se van a analizar, consiste en eliminar el mayor número de variables que puedan influir en los resultados del estudio. Para ello se considera de forma individual la envolvente vertical, sin que intervenga en la evaluación la forma arquitectónica. Para poder realizar la simulación de modelos informáticos se parte de su evaluación mediante modelos que responden a celdas de ensayo. Estas celdas de ensayos se pueden definir como una representación virtual en 3D a partir de la cual se van a obtener los diferentes valores que ayudarán a realizar una comparación entre las diferentes soluciones que fueron propuestas por cada equipo para su prototipo del

concurso SD 2014. Las celdas de ensayo se simularán con la ayuda del software informático DesignBuilder versión 5.0.1.024. Estas celdas tendrán una geometría rectangular y estarán elevadas del suelo una cierta distancia para que no exista intercambio de temperatura entre el terreno y estas. Además, tres de los cerramientos verticales, el suelo y el techo se comportarán de forma adiabática en el proceso de simulación para simplificar el cálculo y extraer solo los datos de uno de los cerramientos verticales, el que será el cerramiento de estudio.

## 4.Estado del arte.

### 4.1. Definición concurso Solar Decathlon.

El Concurso Solar Decathlon, es la competición internacional de hábitat sostenible para estudiantes universitarios más relevante del mundo, organizada por el Departamento de Energía de Estados Unidos (logotipo en Figura 4,1) y en la que Universidades de todo el mundo pueden organizar su equipo de trabajo y presentarse a esta para diseñar, construir y operar una casa energéticamente autosuficiente. Las casas proyectadas deben utilizar la energía solar como única fuente de energía y estarán equipadas con todas las tecnologías necesarias para conseguir la máxima eficiencia energética. Se trata básicamente de un Proyecto de Investigación de carácter competitivo, internacional y de índole institucional.

Para cada una de las ediciones, la organización abre previamente un plazo de preselección que está abierto para todas las Universidades del mundo. En este plazo, cada equipo presentará su propuesta de diseño mediante dibujos, esquemas, imágenes... y además una memoria en la que se describa la idea y el desarrollo que va a tener el proyecto a lo largo de la competición. Una vez que se analizan todas las propuestas, se seleccionan un total de 20 Universidades para la continuación de la competición. A partir de este periodo, los equipos seleccionados comienzan a trabajar y deben cumplir una serie de entregas mínimas que estructura la organización del concurso antes de que llegue la fase final del concurso y poner a prueba cada uno de los resultados. Durante la fase final, los equipos de la competición se reúnen en la sede establecida en cada edición por la organización para que el jurado pueda llevar a cabo todas y cada una de las pruebas para posteriormente hacer el reparto de puntuaciones. Todos los equipos contarán con una parcela de dimensiones similares en la que construirán su prototipo finalmente diseñado para someterlos a las diferentes pruebas que se llevarán a cabo por parte del jurado de la competición. Además, estos prototipos se mantendrán expuestos al público durante un periodo limitado de tiempo antes de ser sometidos a dichas pruebas, para la evaluación de una de ellas en la que la puntuación depende de la valoración del público que ha visitado los diferentes prototipos. Finalmente serán expuestos de nuevo durante un periodo de tiempo más extenso una vez terminada la competición.

Este evento tiene una repercusión extraordinaria, pues el lugar donde se exponen todos los prototipos los días que son sometidos a las pruebas se convierte en una auténtica exposición internacional a modo de escaparate donde se pueden contemplar los mejores logros mundiales en sostenibilidad.



Figura 4.1. Logotipo del departamento de Energía de Estados Unidos que organiza la competición.

#### 4.2. Bases concurso SD EUROPA 2019: Szentendre, Hungría.

El concurso SD EUROPA 2019 está guiado por una serie de reglas y condiciones que se localizan en su página web: <http://sde2019.hu>

Las reglas se desarrollan por parte de la organización del concurso Solar Decathlon para que todas las propuestas del concurso adquieran una cierta homogeneidad principalmente en cuanto a las dimensiones y actividades que se deben poder desarrollar en el diseño del prototipo. Esto no quiere decir que se limite la forma de proyectar y de innovar de los equipos, simplemente se establecen una serie de criterios como base para que la exposición final en Hungría esté controlada en un ámbito y cada equipo disponga de una parcela de dimensiones similares para desarrollar la construcción de su prototipo.

Por otro lado, además del requisito indispensable de cumplir todas las reglas, se establece la manera de enfocar la propuesta hacia unos mismos objetivos mediante una serie de pruebas que determinan las puntuaciones parciales y consecuentemente la clasificación final del concurso. Por ello, se estudiarán y se tendrán en cuenta aquellas pruebas que están relacionadas con la temática de envolventes pasivas, las cuales podemos controlar y asegurar una buena puntuación mediante el control de la manera de configurar las diferentes capas de la envolvente del prototipo que se debe diseñar.

En el concurso existen un total de 10 temáticas evaluables que se llevarán a cabo durante 10 días del mes de junio de 2019, mes en el que tendrá lugar el concurso en Szentendre, Hungría. Las temáticas que presenta la organización en el documento citado anteriormente para el concurso son las siguientes: Arquitectura, Ingeniería y Construcción, Eficiencia Energética, Comunicación y Sensibilización Social, Integración e Impacto de Vecindad, Innovación y Viabilidad, Circularidad y Sostenibilidad, Condiciones de Confort, Funcionamiento de la Casa y Balance de Energía. De todas las mencionadas anteriormente, tendremos en cuenta principalmente las temáticas de Eficiencia Energética y Condiciones de Confort, pues son las dos temáticas más relacionadas con este trabajo fin de grado.

La temática de Eficiencia Energética se expondrá y se tendrá en cuenta únicamente de forma conceptual, ya que como se explica más adelante, esta prueba se evalúa de forma objetiva mediante un jurado, por lo que no podemos garantizar unos resultados exactos que nos permitan adquirir la totalidad de los puntos en dicha prueba. Por otro lado, la temática de Condiciones de Confort se subdivide en varias pruebas, de las que únicamente se tendrán en cuenta aquellas pruebas que se evalúan mediante sensores y que por lo tanto se basan en valores numéricos que pueden llegar a controlarse mediante la pasividad de la envolvente. En estas pruebas, sí que podemos garantizar un comportamiento pasivo ajustado de la envolvente para obtener unos valores de temperatura y humedad adecuados dentro del prototipo para obtener la mayor puntuación posible.

### Temática 1: Eficiencia Energética

La prueba de Eficiencia energética se valora mediante un jurado formado por ingenieros, arquitectos y especialistas de las diferentes disciplinas que se evalúan. Por lo tanto, esta prueba tiene un carácter de evaluación objetivo y no mediante un valor numérico que se pueda controlar previamente. Por ello, se tendrá en cuenta a nivel conceptual pero no influirá en el análisis que se realizará mediante el software informático DesignBuilder. La prueba tiene una puntuación total de 100 puntos y los conceptos evaluados son los siguientes:

- La eficiencia de la envolvente de la casa.
- La eficiencia de los sistemas pasivos o mayoritariamente pasivos.
- La eficiencia de los sistemas activos (calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y agua caliente)
- Análisis energético de la casa y mecanismos de ahorro de energía.
- Aumento de la eficiencia debido a la gestión de la casa.
- Eficiencia en acoplamiento de la vivienda y el transporte.

### Criterios de evaluación:

#### 1. La eficiencia del prototipo.

Se valorará la construcción de la envolvente de la casa teniendo en cuenta la eficiencia energética de sus materiales y las soluciones adoptadas, es decir, la eficiencia energética de los sistemas pasivos o mayormente pasivos.

#### 2. Eficiencia de los sistemas HVAC.

Se evaluará el concepto, dimensionamiento y resolución de las instalaciones de los sistemas de climatización. Además, se evaluarán también las estrategias pasivas y / o activas de la casa, así como su eficacia para cumplir con las necesidades de esta.

#### 3. Análisis energético del prototipo.

Se evaluará la comunicación efectiva y la síntesis del proceso de diseño y el análisis del equipo, centrándose en la aplicación de los principios de ingeniería, modelado, simulación y soluciones creativas. La descripción general del proyecto geométrico, sobre la estanqueidad al aire y cualquier elemento singular que podría contribuir a la eficiencia energética del prototipo. También será evaluada la influencia de las decisiones en las simulaciones y los cambios en el diseño de la casa, así como los cálculos de las necesidades, las cargas térmicas y el consumo de energía del prototipo.

#### 4. Evaluación térmica simulada

Cada prototipo se evalúa mediante una herramienta específica de edificios de simulación térmica con el fin de comparar cada uno de ellos de manera igualitaria apoyándose en una base común gracias a la herramienta informática.

## Temática 2: Condiciones de Confort

La prueba de Condiciones de Confort se realiza según aparece reflejado en las reglas del concurso, es decir, únicamente se evaluarán dos de las diferentes estancias que obligatoriamente deben aparecer en el prototipo, el estar y la cocina.

El objetivo de la prueba consiste en evaluar la variación de las condiciones climáticas de la estancia para proporcionar un estado de confort a través del control de diferentes magnitudes como la temperatura, la humedad, las condiciones acústicas, la iluminación y la calidad del aire interior. De todas las mencionadas anteriormente, únicamente se tendrá en cuenta dos de ellas, la temperatura y la humedad, ya que son las únicas dos pruebas que no se evalúan de manera objetiva mediante un jurado. Esto quiere decir que la adquisición de los puntos no se consigue mediante la decisión de una serie de especialistas, sino que es un valor numérico obtenido mediante monitorización a través de un sensor el que determinará la puntuación del equipo en la prueba conforme a los valores obtenidos por el sensor y teniendo en cuenta los porcentajes de puntos establecidos para cada uno de los resultados obtenidos.

A continuación, se explicará detalladamente cada una de las pruebas y la manera en cómo se reparten cada una de las puntuaciones en función de los valores obtenidos.

### Prueba 1: Temperatura

La prueba de temperatura se medirá mediante la colocación de dos sensores, termómetros de globo según la norma UNE-EN ISO 7726:2002, la cual se puede consultar en la página web: [www.aenor.es](http://www.aenor.es). Los sensores estarán colocados en las dos estancias evaluables como se mencionó anteriormente, el estar y la cocina. Esta prueba consta de un total de 40 puntos adquiriendo la totalidad de ellos si se mantiene la temperatura interior de la estancia que se evalúa en un rango de variación de 2 °C en función de la temperatura operativa que exista durante el tiempo de la toma de datos de los sensores, como se indica en las bases del concurso (Figura 4.2). Para calcular el intervalo de temperatura operativa entre el que tiene que estar la temperatura interior de la estancia durante la toma de datos se utilizará la fórmula que aparece en las bases del concurso. En ella, influye principalmente la temperatura operativa media de los 7 días previos al de la toma de datos. Teniendo en cuenta que las pruebas se realizarán el día 29 de junio de 2019, calcularemos a continuación dicho intervalo de 2 °C mencionado anteriormente con una estimación de las temperaturas previstas para dicha fecha en función de las temperaturas medias tomadas años anteriores.

### Procedimiento del cálculo:

1º Toma de datos: Temperatura media operativa de los 7 días previos:

T1= 22/06/2019.....	19,02 °C
T2= 23/06/2019.....	16,93 °C
T3= 24/06/2019.....	16,60 °C
T4= 25/06/2019.....	17,57 °C
T5= 26/06/2019.....	18,62 °C
T6= 27/06/2019.....	18,96 °C
T7= 28/06/2019.....	20,42 °C

2º Cálculo de TAE= Temperatura Exterior Media:

$$TAE = (T1 + 0,8T2 + 0,6T3 + 0,5T4 + 0,4T5 + 0,3T6 + 0,2T7) / 3,8$$
$$TAE = \frac{(19,02 + 0,8 \cdot 16,93 + 0,6 \cdot 16,60 + 0,5 \cdot 17,57 + 0,4 \cdot 18,62 + 0,3 \cdot 18,96 + 0,2 \cdot 20,42)}{3,8}$$

$$TAE = 18,03 \text{ °C}$$

3º Cálculo de intervalo para la puntuación máxima:

$$T \text{ mínima de confort} = 0,33TEA + 17,8$$

$$T \text{ máxima de confort} = 0,33TEA + 19,8$$

$$T \text{ mínima de confort} = 0,33 \cdot 18,03 + 17,8 = 23,75 \text{ °C}$$

$$T \text{ máxima de confort} = 0,33 \cdot 18,03 + 19,8 = 25,75 \text{ °C}$$

La distribución de puntos se realiza mediante la siguiente gráfica:

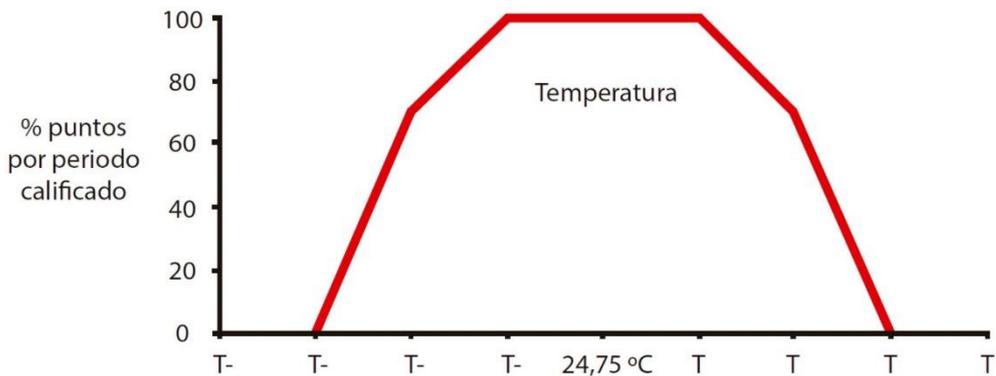


Figura 4.2. Gráfica de puntuaciones para la prueba de Temperatura.

## Prueba 2: Humedad

La prueba de humedad se realiza de forma similar a la de temperatura. Al igual que en la prueba desarrollada anteriormente, esta prueba se desarrolla mediante dos sensores colocados también en las estancias que se van a evaluar, el estar y la cocina, junto a los sensores de temperatura que se colocan para la prueba anterior de temperatura. Esta prueba consta de un total de 20 puntos máximos y en la que se obtienen la totalidad de ellos consiguiendo mantener las estancias evaluables entre el 40 % y el 55 % de humedad durante el periodo de la toma de datos como se establece en las bases del concurso (Figura 4.3). Esta prueba es mucho más sencilla que la anterior en cuanto a los criterios de evaluación, ya que no es necesario el calculo previo del intervalo para obtener la máxima puntuación, sino que ya se establece directamente por parte de la organización el intervalo en el porcentaje de humedad interior que deben mantener las estancias a evaluar.

La distribución de puntos se realiza mediante la siguiente gráfica:

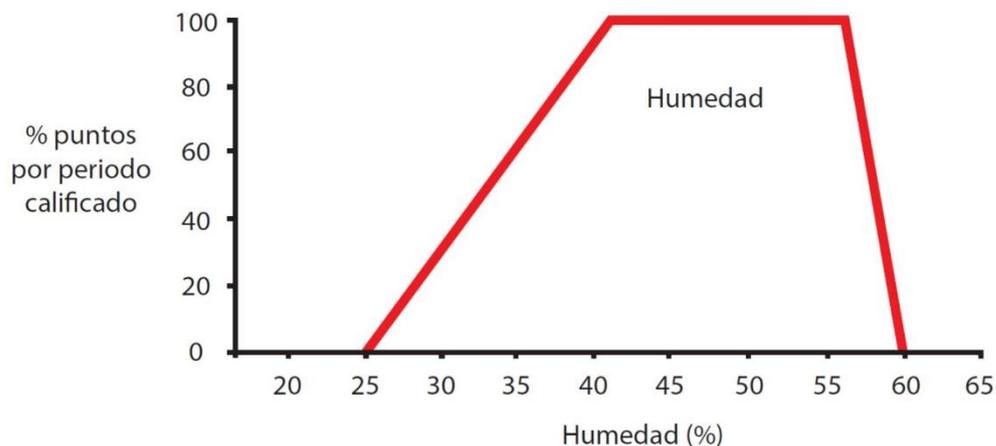


Figura 4.3. Gráfica de puntuaciones para la prueba de Humedad.

### 4.3. Envoltentes verticales [Solar Decathlon Europe 2014](#): Versalles, Francia.

#### 4.3.1 Descripción geométrica de los proyectos.

## 01 PROTOTIPO EQUIPO ROMA



Figura 4.4. *Volumetría del prototipo del equipo de Roma.*

### 1. Planta.



Figura 4.5. *Planta de usos del prototipo del equipo de Roma.*

## 2. Alzados.

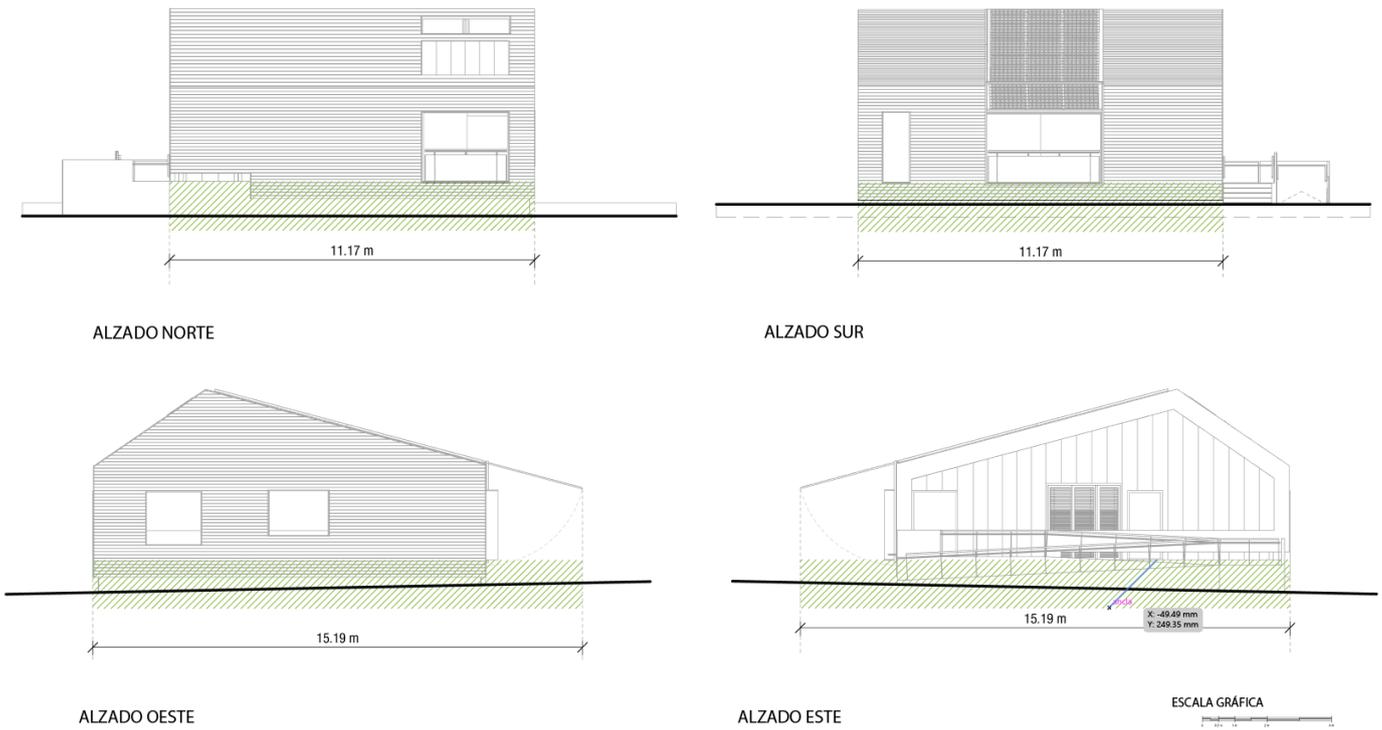


Figura 4.6. Alzados del prototipo del equipo de Roma.

## 3. Secciones.



Figura 4.7. Secciones del prototipo del equipo de Roma.

## 4. Envoltente.

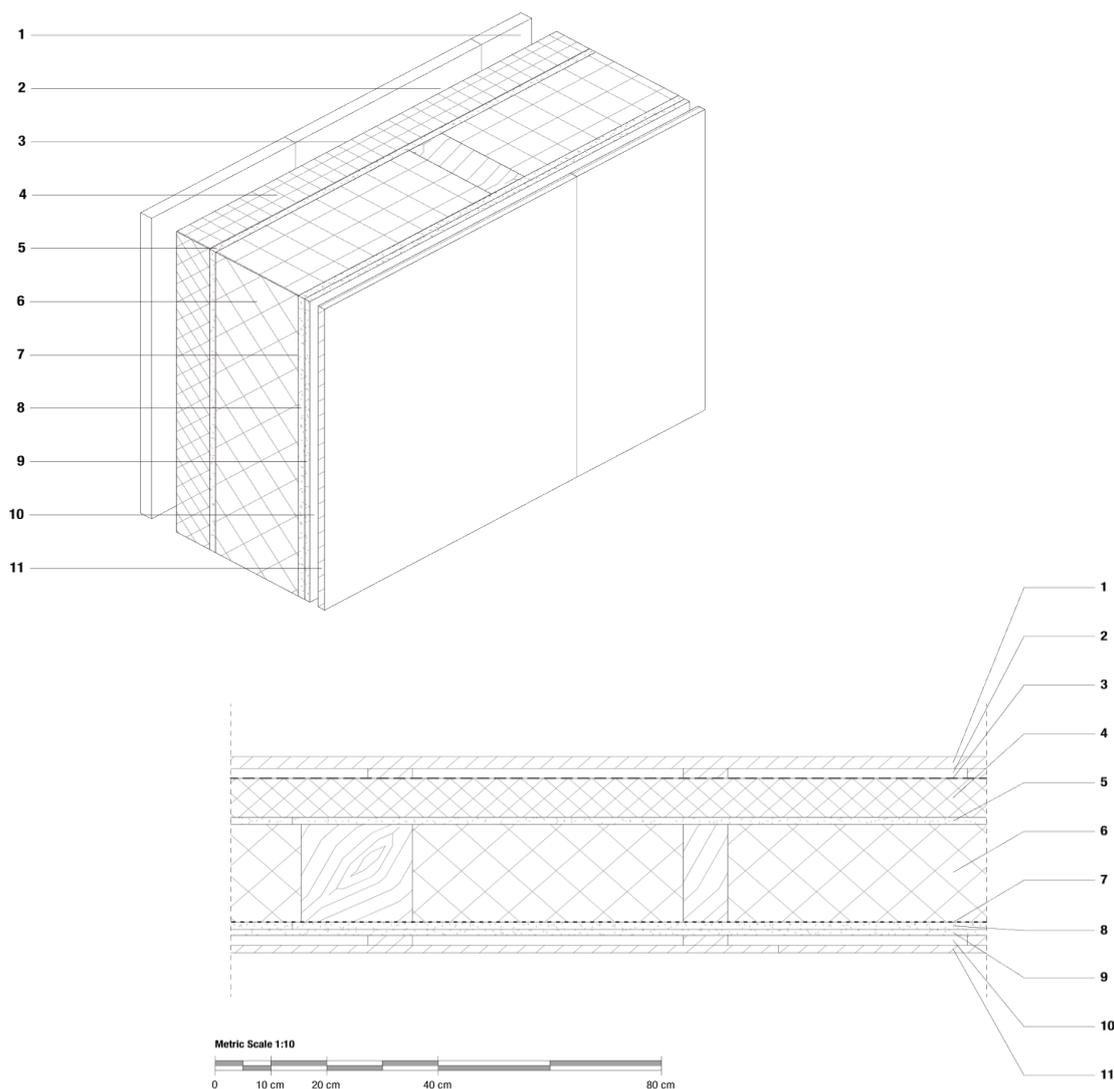


Figura 4.8. Secciones constructivas de la envoltente del prototipo del equipo de Roma.

Nº	Capas (Exterior-Interior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m2K)
1	Finalización de Madera (Alerce)	25.00	0.096	/	<b>0.125</b>
2	Cámara de Aire Ventilada	20.00	/	/	
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	
3	Impermeabilizante Stamisol Color Rojo	0.70	/	/	
4	Fibra de Madera de Alta Densidad	80.00	0.038	2.11	
5	Fibra de Yeso	15.00	0.320	0.05	
6	Fibra de Madera de Baja Densidad	200.00	0.038	5.26	
7	Lámina transpirable	0.75	/	/	
8	Fibra de Yeso	15.00	0.320	0.05	
9	Placa de Yeso	12.50	0.200	0.06	
10	Cámara de Aire Estática	20.00	0.170	0.12	
11	Finalización de Madera (Picea)	16.00	0.096	0.17	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>404.95</b>	<b>/</b>	<b>7.98</b>	

Figura 4.9. Tabla de propiedades de las capas de la envoltente del prototipo del equipo de Roma.

## 02 PROTOTIPO EQUIPO PHILÈAS

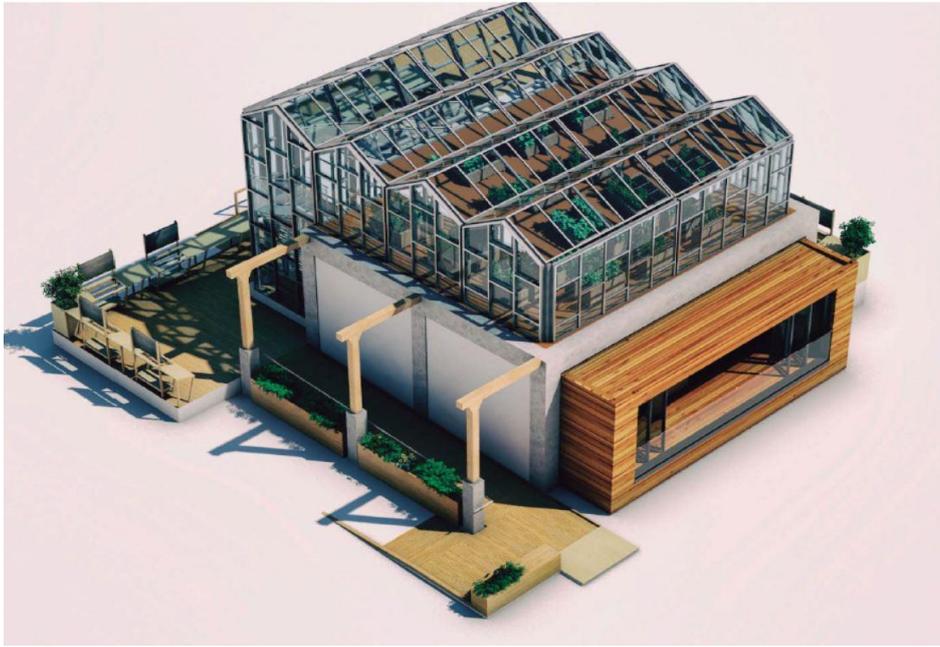


Figura 4.10. *Volumetría del prototipo del equipo Philèas.*

### 1. Plantas.

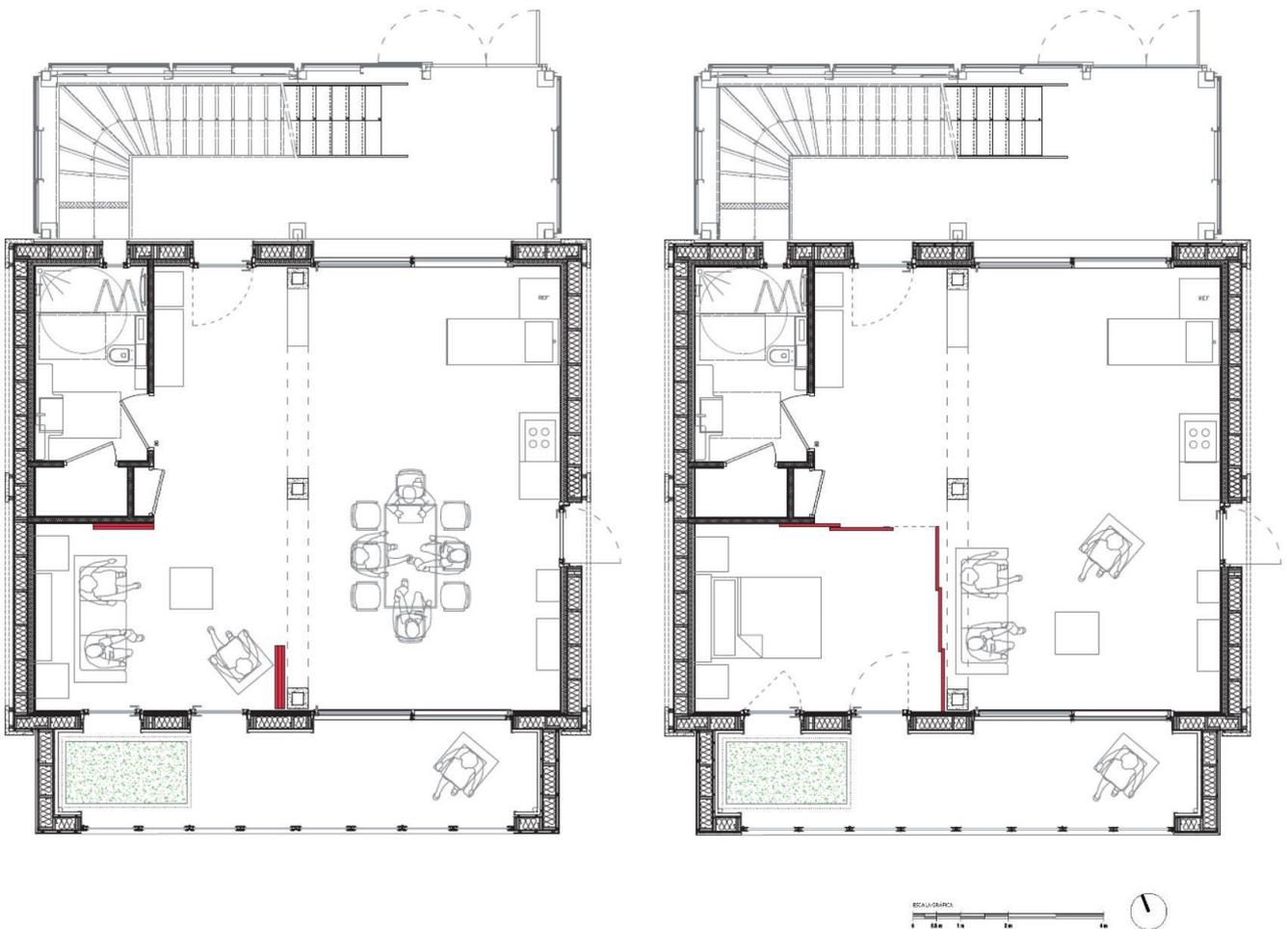


Figura 4.11. *Plantas de usos del prototipo del equipo Philèas (Planta con distribución diurna y planta con distribución nocturna respectivamente)*

## 2. Alzados

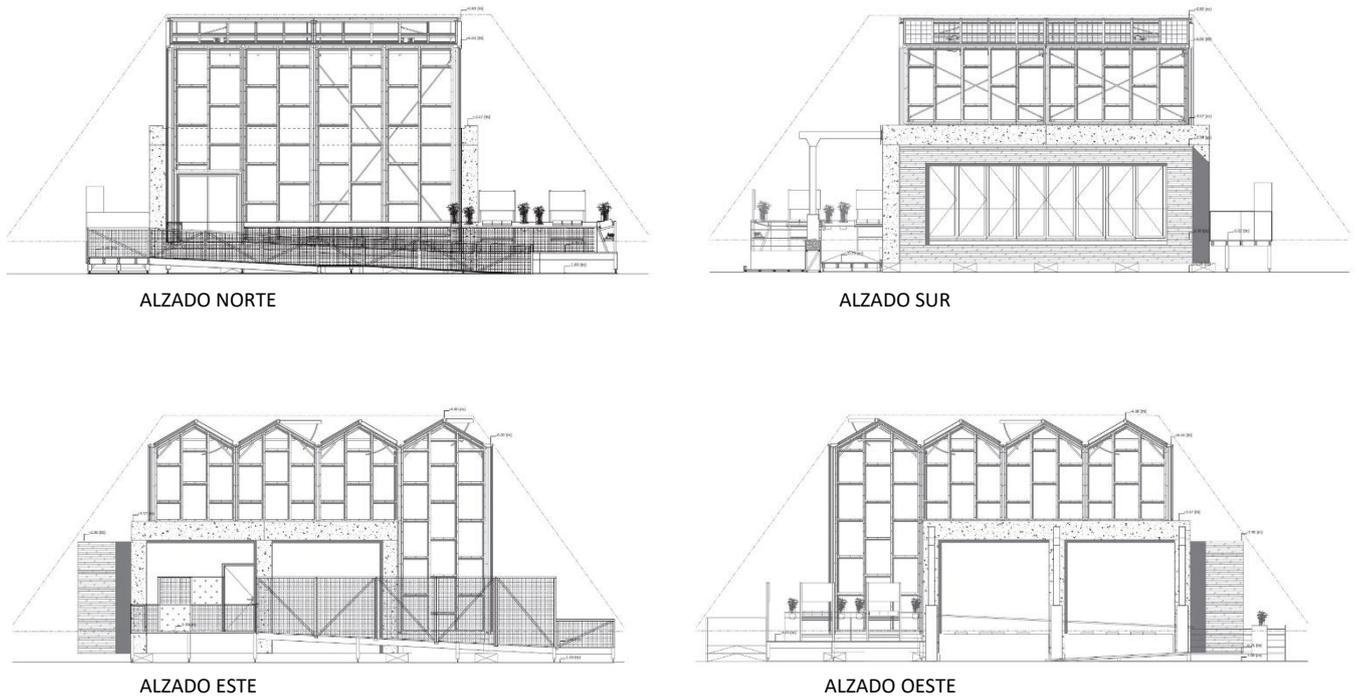


Figura 4.12. Alzados del prototipo del equipo Philèas.

## 3. Secciones

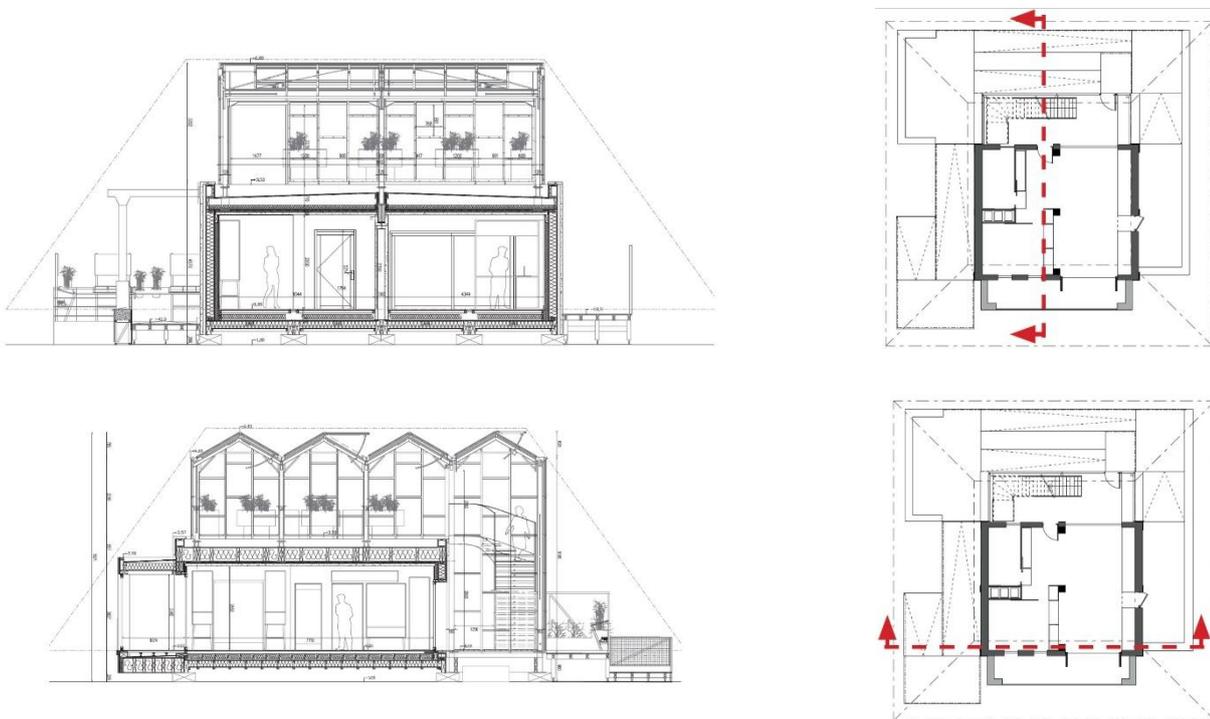


Figura 4.13. Secciones del prototipo del equipo Philèas.

## 4. Envoltente

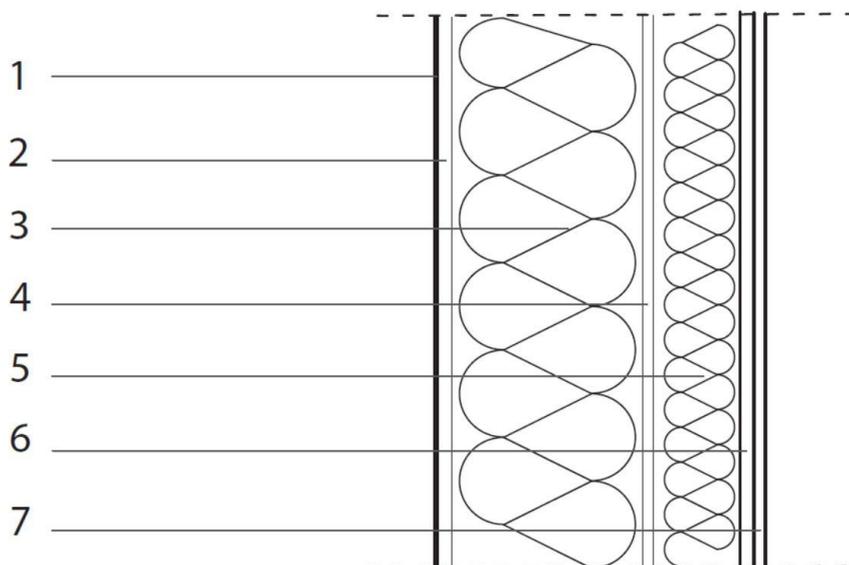


Figura 4.14. Sección constructiva de la envoltente del prototipo del equipo Philèas.

Nº	Capas (Exterior-Interior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m2K)
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	<b>0.10</b>
1	Impermeabilizante Stamisol	0.70	/	/	
2	Madera contrachapada	15.00	0.130	0.12	
3	Aislamiento térmico de lana de roca	220.00	0.035	6.29	
4	Madera contrachapada	15.00	0.130	0.12	
5	Aislamiento térmico de lana de roca	100.00	0.035	2.86	
6	Placa de Yeso	16.00	0.200	0.08	
7	Fibra de Yeso	13.00	0.320	0.04	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>379.70</b>	/	<b>9.66</b>	

Figura 4.15. Tabla de propiedades de las capas de la envoltente del prototipo del equipo Philèas.

### 03 PROTOTIPO EQUIPO ROOFTOP



Figura 4.16. *Volumetría del prototipo del equipo Rooftop.*

#### 1. Planta

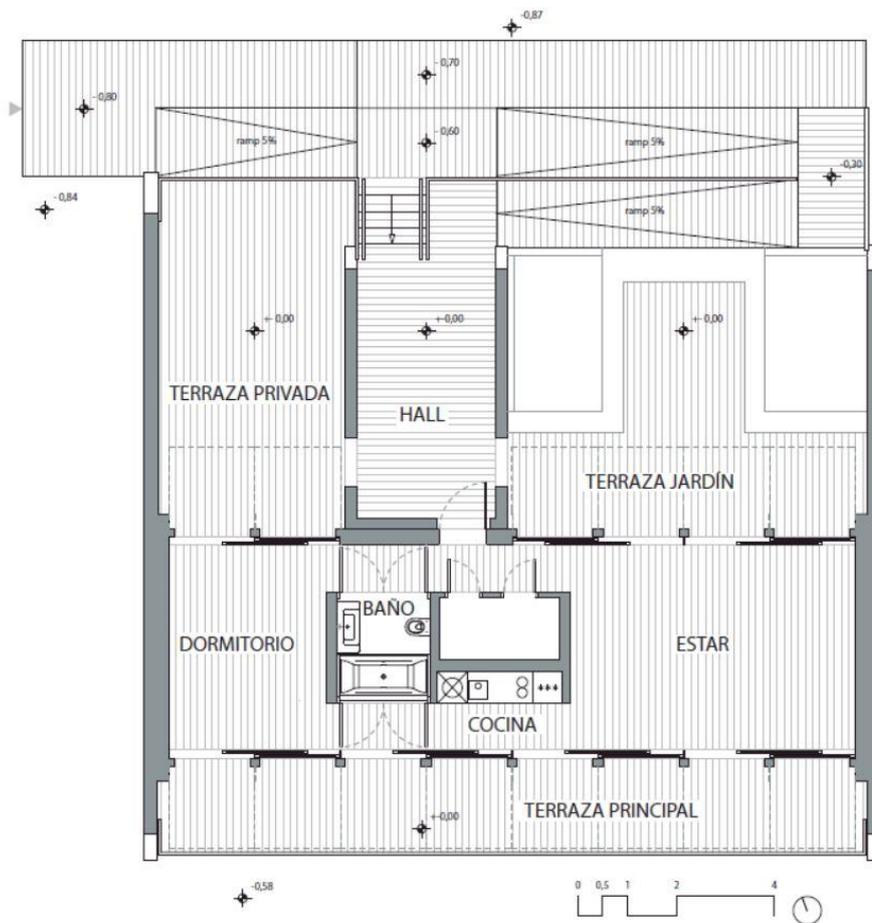


Figura 4.17. *Planta de usos del prototipo del equipo Rooftop.*

## 2. Alzados

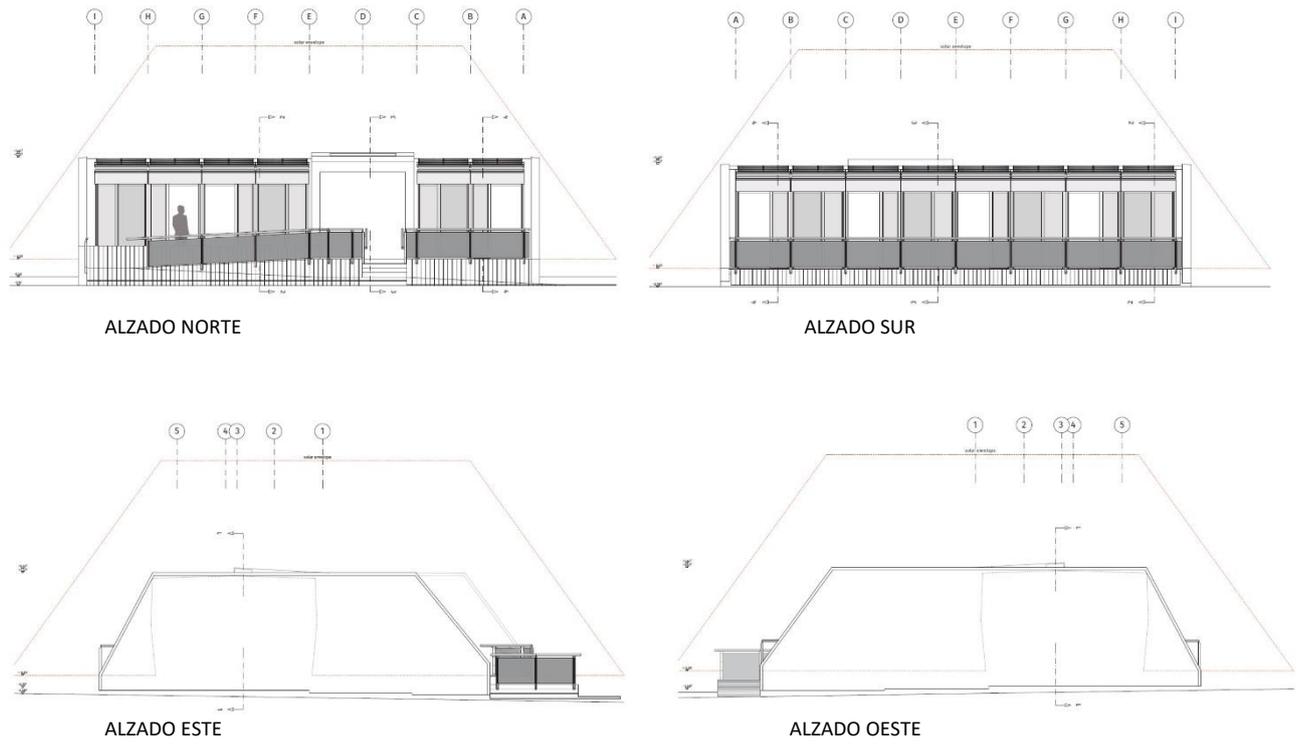


Figura 4.18. Alzados del prototipo del equipo Rooftop.

## 3. Secciones

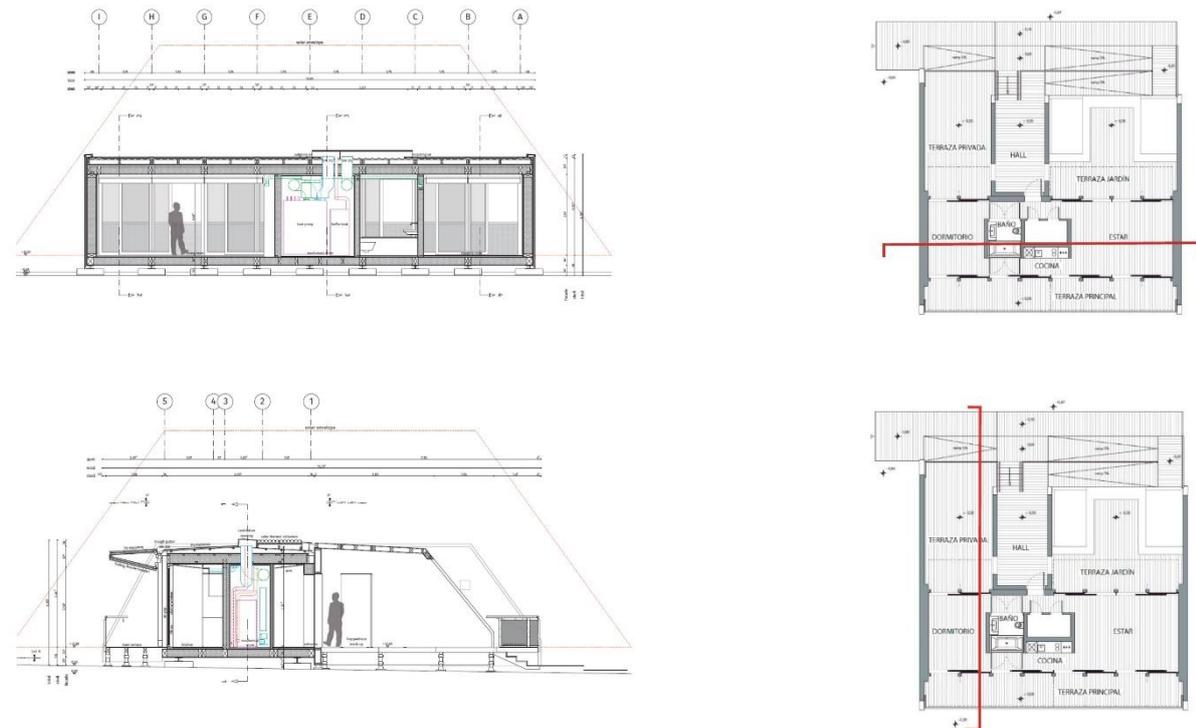


Figura 4.19. Secciones del prototipo del equipo Rooftop.

#### 4. Envoltente

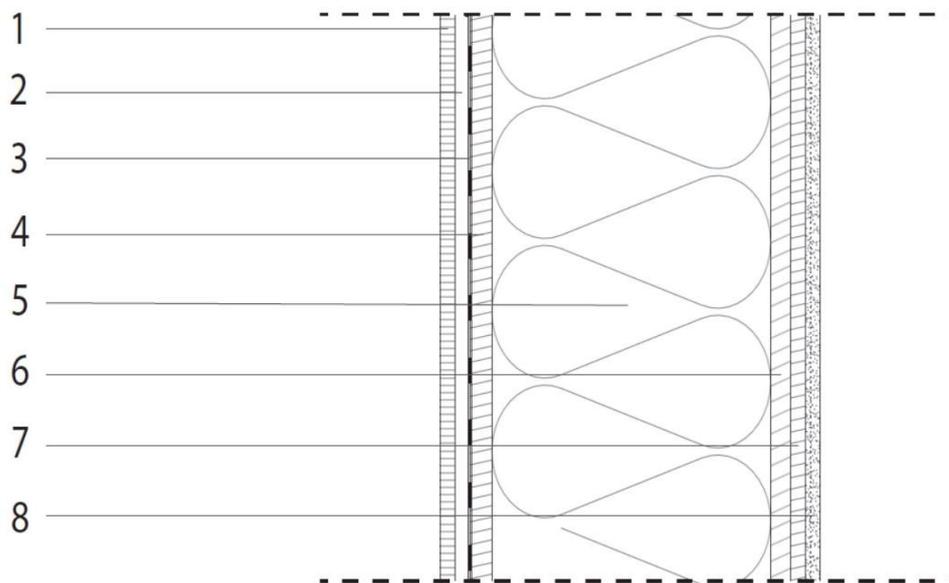


Figura 4.20. Sección constructiva de la envoltente del prototipo del equipo Rooftop.

Nº	Capas (Exterior-Inerior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m <sup>2</sup> K)
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	<b>0.12</b>
1	Tablero de Madera	16.00	0.096	0.17	
2	Cámara de Aire Estática	20.00	0.170	0.12	
3	Lámina impermeabilizante polietileno	1.00	/	/	
4	Tablero OSB	22.00	0.130	0.17	
5	Fibra de Madera de Baja Densidad	280.00	0.038	7.37	
6	Tablero fibra de madera flexible	20.00	0.150	0.13	
7	Tablero OSB	15.00	0.130	0.12	
8	Fibra de yeso	15.00	0.320	0.05	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>389.00</b>	<b>/</b>	<b>8.29</b>	

Figura 4.21. Tabla de propiedades de las capas de la envoltente del prototipo del equipo Rooftop.

## 04 PROTOTIPO EQUIPO YOUR+



Figura 4.22. Imagen del prototipo del equipo Your+.

### 1. Planta

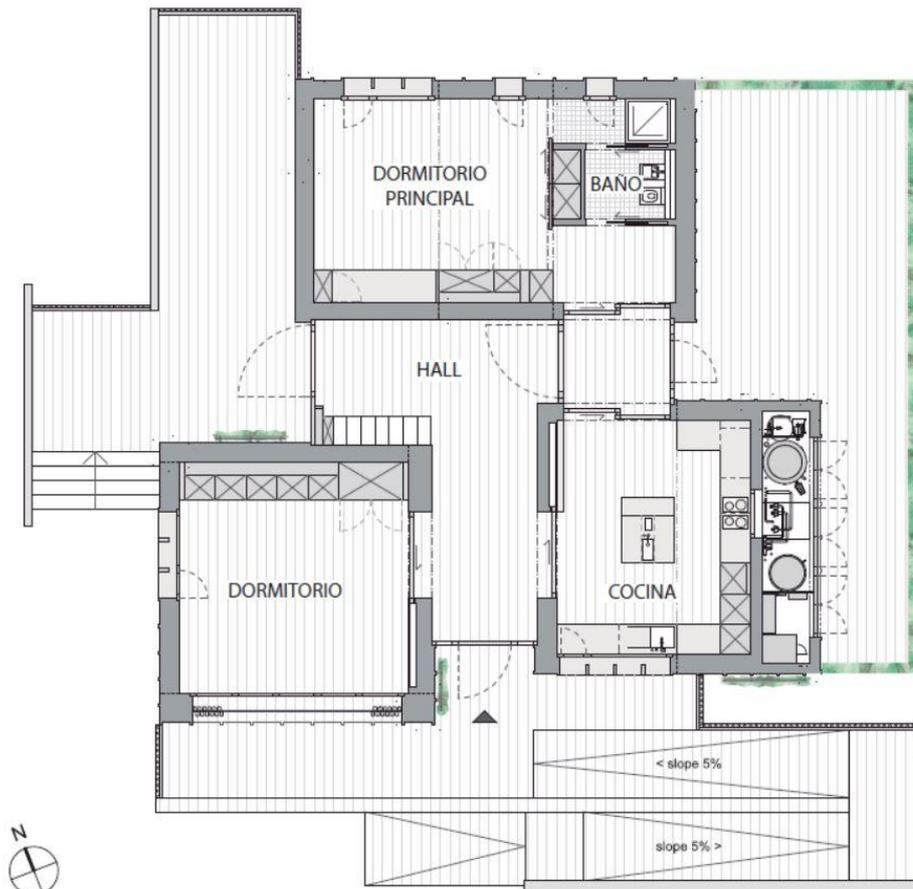


Figura 4.23. Planta de usos del prototipo del equipo Your+.

## 2. Alzados

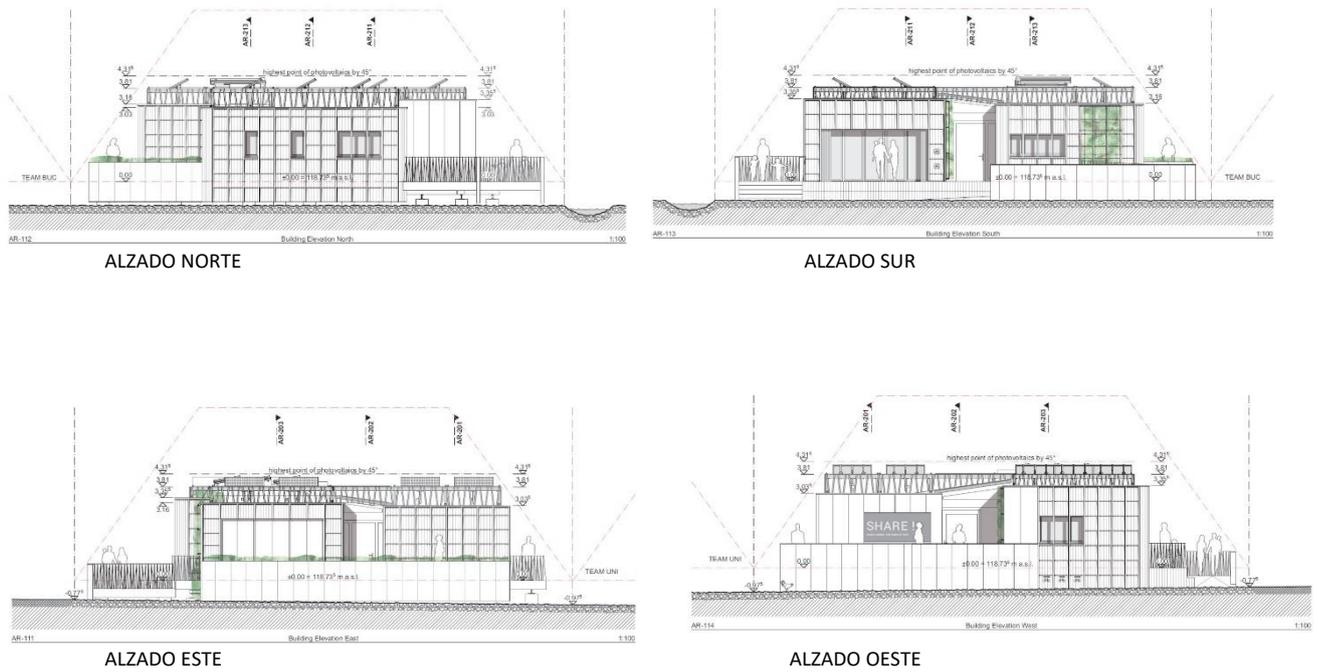


Figura 4.24. Alzados del prototipo del equipo Your+.

## 3. Secciones

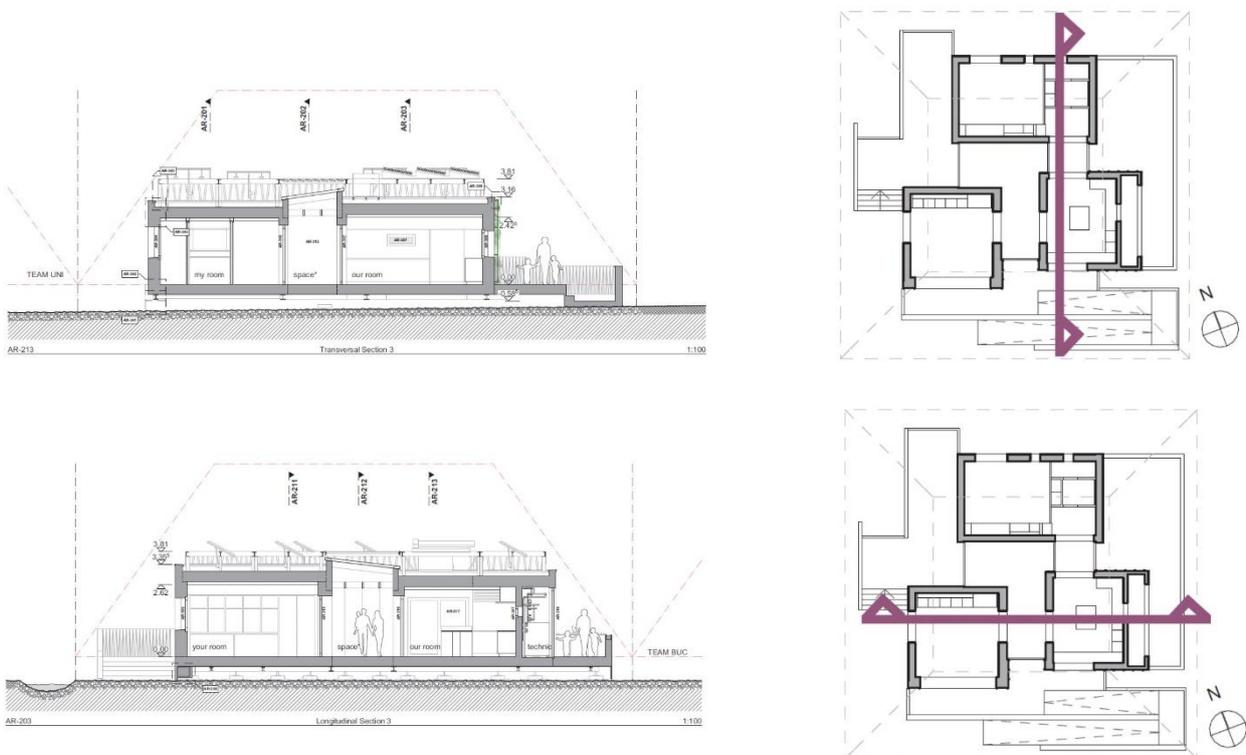


Figura 4.25. Secciones del prototipo del equipo Your+.

## 4. Envoltente

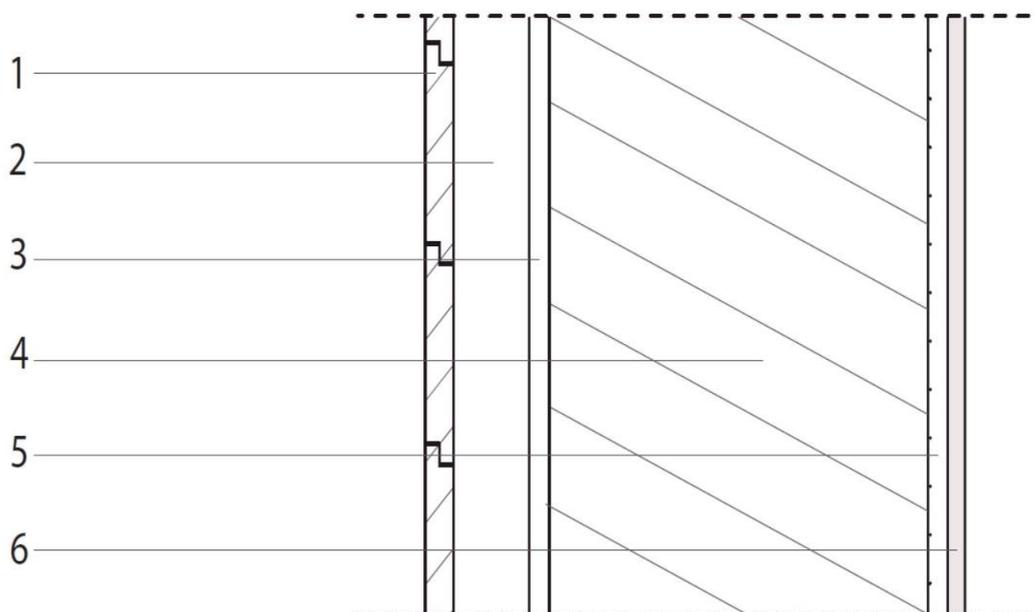


Figura 4.26. Sección constructiva de la envoltente del prototipo del equipo Your+.

Nº	Capas (Exterior-Inerior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m <sup>2</sup> K)
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	<b>0.11</b>
1	Abeto blanco	21.00	0.096	0.22	
2	Cámara de Aire Estática	30.00	0.170	0.18	
3	Tablero fibra de madera flexible	15.00	0.150	0.10	
4	Aislamiento térmico de lana de roca	280.00	0.035	8.00	
5	Barrera de vapor	1.00	/	/	
6	Placa de Yeso	12.50	0.200	0.06	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>359.50</b>	<b>/</b>	<b>8.73</b>	

Figura 4.27. Tabla de propiedades de las capas de la envoltente del prototipo del equipo Your+.

## 5. Caso de estudio.

### 5.1. Condiciones climáticas en Szentendre, Hungría.

Antes de analizar cada una de las envolventes, se debe estudiar los datos climáticos que registra la ciudad de Szentendre, Hungría. Para un estudio correcto, se estructurará el texto en cuatro partes, desarrollando en cada una de ellas su explicación con la ayuda de una gráfica que nos aporte toda la información. Los temas que se van a tratar son la temperatura, las precipitaciones, las horas de luz natural y la humedad, todos ellos a lo largo del año.

#### 1. Temperatura.

El clima de esta ciudad se considera un clima cálido y templado, donde los veranos son bastante calurosos y los inviernos son muy fríos y secos. La temperatura media a lo largo de todo el año puede variar desde los  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta los  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  de máxima, llegando en algunos casos extremos en invierno a  $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$  y en verano hasta los  $33\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La temporada templada dura unos 4 meses, desde el mes de mayo hasta el mes de septiembre normalmente, con una temperatura máxima promedio diario de  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El día más caluroso del año transcurre en el mes de agosto, con una temperatura máxima promedio de  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$  y una temperatura mínima promedio de  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

La temporada fría dura también en torno a 4 meses, desde el mes de noviembre hasta el mes de marzo, con una temperatura máxima promedio diario de  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ . El día más frío del año transcurre en el mes de enero, con una temperatura mínima promedio de  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y máxima promedio de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

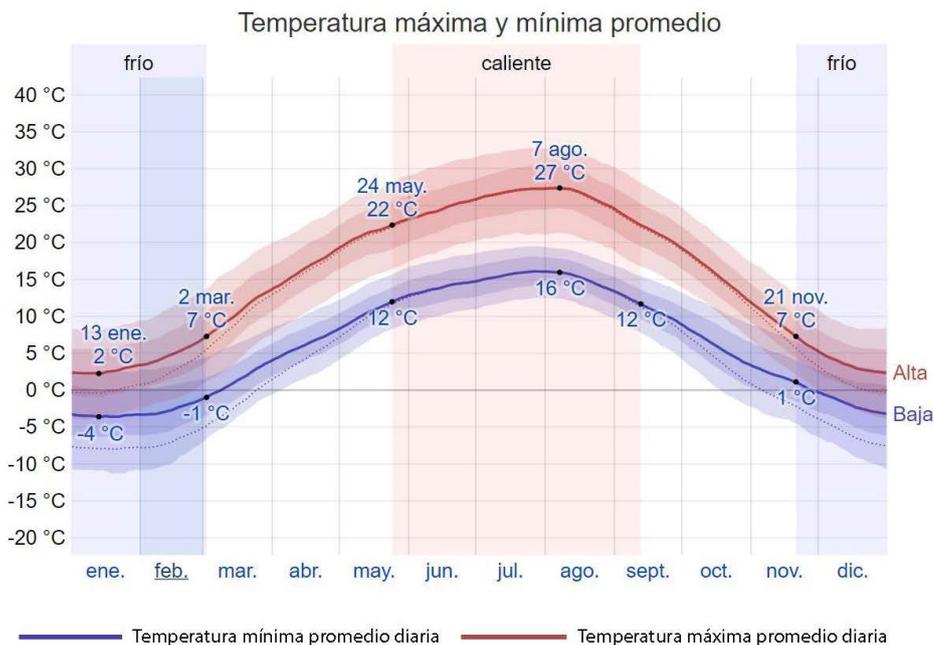


Figura 5.1. Temperaturas máximas y mínimas medias en Szentendre durante el año.

## 2.Precipitaciones.

La probabilidad de días de lluvia en Szentendre varía durante el año. Entre los días mojados, se distinguen los días en los que solamente las precipitaciones son en forma de agua, por otro, solamente en forma de nieve y finalmente una tercera que es la combinación de ambas. En base a esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 31 % el 23 de mayo. La temporada más mojada dura 4 meses, y tiene lugar desde finales del mes de abril hasta mediados del mes de agosto, con una probabilidad de más del 23 % de que uno de los días sea un día mojado. La temporada más seca dura 8 meses y medio, desde mediados del mes de agosto hasta finales del mes de abril.



Figura 5.2. Probabilidad diaria de precipitación en Szentendre durante el año.

## 3.Horas de luz natural.

La duración del día en Szentendre varía considerablemente a lo largo del año. El día más corto del año transcurre siempre en el mes de diciembre, con unas 8 horas y 25 minutos de luz natural aproximadamente y el día más largo transcurre en el mes de junio, con 16 horas de luz natural aproximadamente. En la siguiente gráfica (Figura 5.3), se muestra la duración de los días a lo largo del año 2018, donde se prevé que el 21 de diciembre será el día más corto de todo el año con un total de 8 hora y 25 minutos de luz natural.

A la izquierda de la gráfica podemos ver la duración de los días a lo largo del año representada en el eje “y”. A la derecha, se invierte el orden de las horas para poder medir la duración de las noches representada también en el eje “y”.

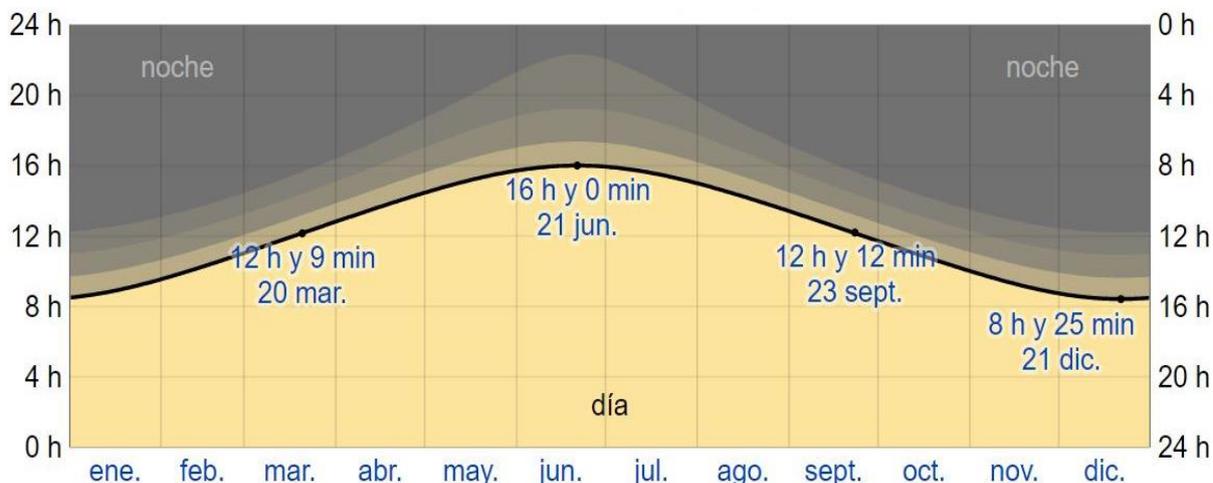


Figura 5.3. Horas de luz natural en Szentendre durante el año.

#### 4.Humedad.

Basaremos el nivel de comodidad de la humedad en el punto de rocío. Cuando los puntos de rocío son más bajos, se siente un ambiente más seco, sin embargo, cuando estos son altos el ambiente es más húmedo. A diferencia de la temperatura, que normalmente varía considerablemente entre la noche y el día, el punto de rocío tiende a variar más lentamente, así es que, aunque la temperatura baje bastante durante la noche, en un día húmedo nos encontraremos generalmente una noche húmeda también.

Atendiendo a las bases del concurso, en las que se establece que la banda de humedad de confort se encuentra entre el 45 % y el 55 % de humedad, comprobamos en la gráfica (Figura 5.4) que coincide dentro de la zona verde en el mes de junio. Teniendo en cuenta que el 29 de junio de 2019 será el día en el que se realice la prueba de humedad, vemos como el porcentaje de humedad que nos aporta un ambiente cómodo (30 % - 55 % aproximadamente) engloba la banda de humedad de confort recogida por las bases del concurso.

En la siguiente gráfica, se muestra el porcentaje de tiempo de los diferentes niveles de humedad, categorizado por el punto de rocío:

seco < 13 °C < cómodo < 16 °C < húmedo < 21 °C < opresivo < 24 °C < insoportable.

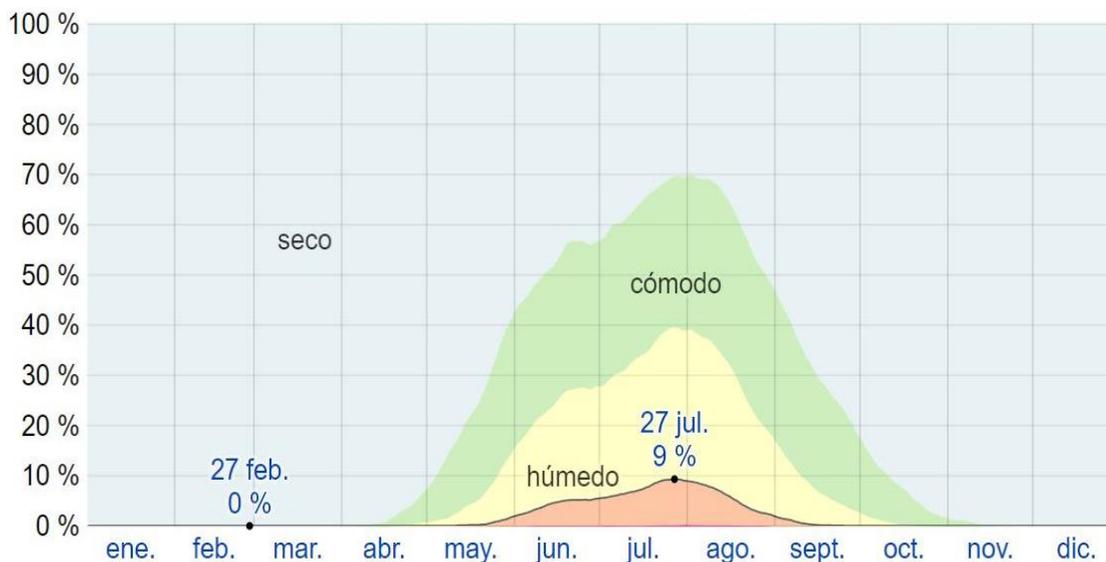


Figura 5.4. Niveles de humedad en % de Szentendre durante el año.

## 5.2. Definición y caracterización del caso de estudio. Celda de ensayo.

Una vez estudiado cada uno de los prototipos y de manera más pormenorizada cada una de las capas que componen sus envolventes principales, se procede al análisis mediante un modelo de simulación, que reproduce una celda de ensayo, mediante el software informático DesignBuilder. Dicha celda de ensayo fue aportada por el tutor de este Trabajo Fin de Grado Rafael Suárez y se trata de un modelo 3D validado y diseñado para análisis de este tipo fruto del proyecto de investigación Celda del grupo de investigación TEP-130. Sin embargo, siempre se tendrá en cuenta que se trata de una virtualización de la realidad, aunque podamos asemejar dicho modelo en gran parte a la misma para conseguir resultados más óptimos.

Dicho grupo de investigación TEP-130 tienen las celdas construidas en un área al aire libre en la parcela de uno de los edificios de la Universidad de Sevilla. Estas celdas se colocaron estratégicamente con una orientación adecuada y además se estudió que no existiese influencia de sombras en ellas por parte de otros obstáculos del entorno. Cada celda es un sistema autónomo en el que se reproduce el espacio interior de una vivienda, con un sistema de información abierto, que puede determinar el rendimiento de las diferentes soluciones de construcción en las fachadas de estudio.

La celda de ensayo se compone principalmente de dos tipos de cerramientos. Uno de ellos, será el cerramiento de estudio, mientras que el resto apenas tendrán repercusión en el análisis al ser adiabáticos. El cerramiento de estudio se modificará alterando sus capas, su espesor, sus materiales y será el cerramiento que nos aporte todos los datos necesarios para el análisis de las envolventes mediante la simulación del modelo. Por otro lado, el resto de los cerramientos de la celda de ensayo están formados por grandes espesores de aislamiento térmico, de manera que se comportan de forma adiabática sin apenas afectar a la transmisión de calor al interior de la celda. Además, la celda de ensayo se encuentra elevada del terreno un metro para evitar así las posibles variaciones de temperatura interior que pueda provocar el contacto con el terreno de esta. De esta manera, se consigue que la variación de la temperatura y de la humedad interior únicamente dependa de uno de los cerramientos, el cual podemos modificar y alterar sus características para posteriormente sacar las diferentes conclusiones.

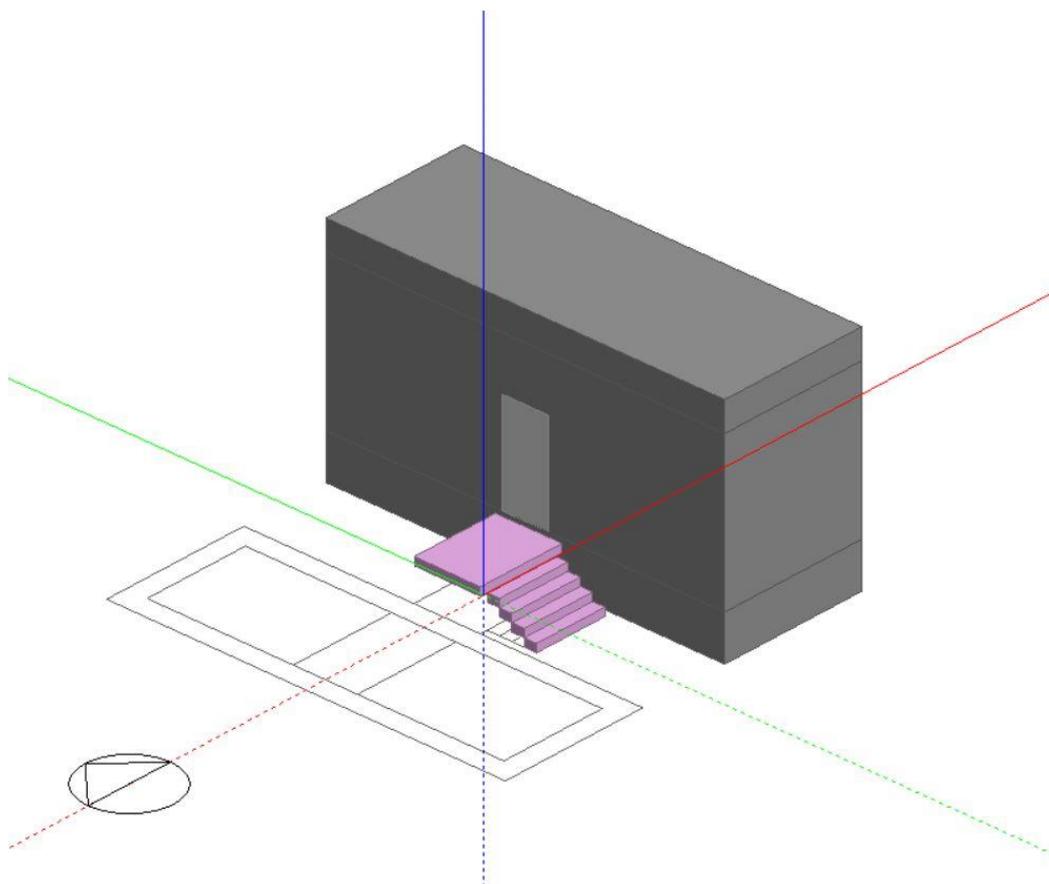


Figura 5.5. *Imagen del modelo 3D de simulación (Celda de ensayo) en el software DesignBuilder.*

Cabe destacar algunas modificaciones que se han llevado a cabo en el modelo 3D de las celdas de ensayo aportado por el tutor de este Trabajo Fin de Grado como se ha mencionado anteriormente. Para simplificar el análisis, se ha eliminado una de las celdas de ensayo, por lo que solo se trabajará con una de ellas. Por otro lado, el cerramiento de estudio presentaba un hueco de ventana en la parte superior del mismo y tras realizar una serie de análisis se ha comprobado que la presencia de este no aportaba grandes cambios en la temperatura ni en la humedad interior de la celda. Debido a ello, para simplificar aún más el análisis y realizarlo de manera efectiva y sencilla se ha decidido eliminar el hueco de ventana que contenía el cerramiento de estudio. Sin embargo, los datos climáticos que se incorporan en el software DesignBuilder se dejarán tal y como han sido aportados por el tutor, destacando el más importante como es la ventilación de 0.4 renovaciones por hora.

El concurso tendrá lugar durante el mes de junio de 2019, destacando el día 29 de dicho mes como el día más representativo de la competición. Este día, ha sido el día elegido por la organización para realizar las diferentes pruebas del concurso y en concreto las pruebas de condiciones de confort, que son las que nos interesan para el análisis en este trabajo fin de grado. Por ello, el análisis que se va a realizar estará enfocado para ese 29 de junio de 2019 con temperaturas aproximadas previstas según la media de temperaturas calculadas durante los años anteriores. El horario de las pruebas aún está por confirmar, por lo que se realizará un análisis horario del día completo, incluso horas nocturnas.

Aunque el análisis se realice únicamente para el día más representativo de la competición, hay que dejar presente que la simulación en el software informático no se realizará únicamente para ese día. Si se realiza la simulación solamente para ese día, estaríamos perdiendo aproximación a la realidad, ya que la celda comenzaría a calentarse desde cero y nos daría datos de temperatura y humedad poco reales. Para solucionar dicho problema y aunque solo se represente gráficamente el día 29 de junio en el trabajo, la simulación de la celda de ensayo se realizará durante un periodo de un mes para obtener datos mucho más aproximados a la realidad. La simulación comenzará 2 semanas previas a las pruebas y finalizará 2 semanas después, tiempo suficiente para que la celda de ensayo se estabilice y nos aporte para el día 29 de junio datos más óptimos siempre teniendo en cuenta que se trata de una virtualización de la realidad.

### 5.3. Evaluación de soluciones de envolventes verticales.

Para evaluar cada una de las envolventes, se pretende seguir un orden. La envolvente de cada prototipo se analizará independientemente tanto para la temperatura como para la humedad. En primer lugar, se representará el análisis de la temperatura interior de la celda de ensayo y seguidamente se hará lo mismo con la humedad interior de dicha celda. Esta estructura se repetirá para cada uno de los prototipos estudiados.

De forma más detallada, además de los comentarios de cada una de las partes del análisis, este estará estructurado de la siguiente manera:

- Explicación de posiciones y puntuaciones de cada equipo, así como la sección constructiva de su envolvente y la tabla de las diferentes capas que las componen con su transmitancia térmica total.
- Representación gráfica en las diferentes orientaciones de la temperatura interior, de la temperatura exterior y del intervalo de temperatura máxima y mínima calculada en el apartado 4.2 de las bases del concurso entre las que debe estar la temperatura interior para la obtención de la totalidad de los puntos en la prueba de condiciones de confort: temperatura interior.
- Representación gráfica conjunta de la temperatura interior en cada una de las orientaciones, con el fin de hacer una comparación del comportamiento de la envolvente según su orientación.
- Representación gráfica conjunta de la humedad interior en cada una de las orientaciones, con el fin de hacer una comparación del comportamiento de la envolvente según su orientación.

## 01 Cerramiento Prototipo Roma

El equipo de Roma fue el ganador de la edición de la que parte como base este Trabajo Fin de Grado, consiguiendo un total de 840.63 puntos. De todos ellos, en la prueba de Condiciones de confort consiguió obtener 107.40 puntos, quedando en segundo lugar en dicha prueba.

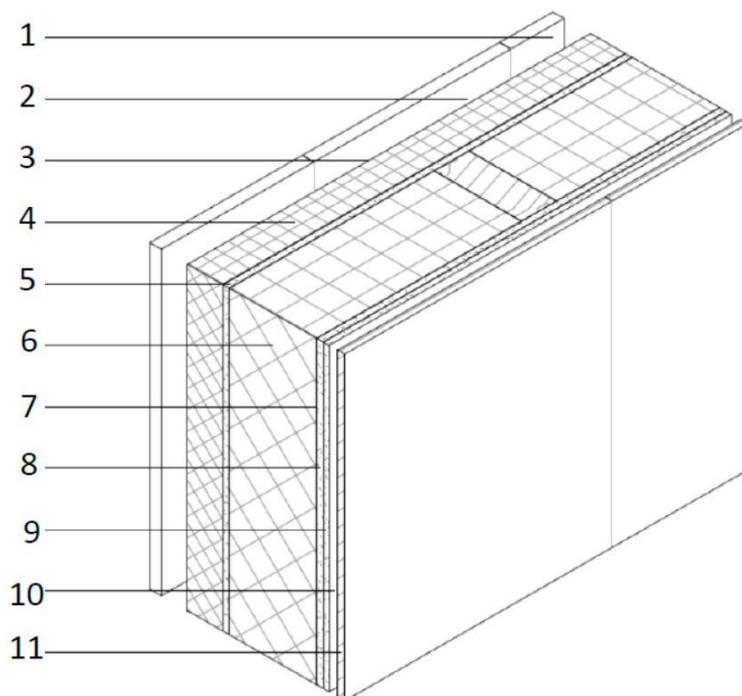


Figura 5.6. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo de Roma.

Nº	Capas (Exterior-Inerior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m2K)
1	Finalización de Madera (Alerce)	25.00	0.096	/	<b>0.125</b>
2	Cámara de Aire Ventilada	20.00	/	/	
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	
3	Impermeabilizante Stamisol Color Rojo	0.70	/	/	
4	Fibra de Madera de Alta Densidad	80.00	0.038	2.11	
5	Fibra de Yeso	15.00	0.320	0.05	
6	Fibra de Madera de Baja Densidad	200.00	0.038	5.26	
7	Lámina transpirable	0.75	/	/	
8	Fibra de Yeso	15.00	0.320	0.05	
9	Placa de Yeso	12.50	0.200	0.06	
10	Cámara de Aire Estática	20.00	0.170	0.12	
11	Finalización de Madera (Picea)	16.00	0.096	0.17	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>404.95</b>	<b>/</b>	<b>7.98</b>	

Figura 5.7. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo de Roma.

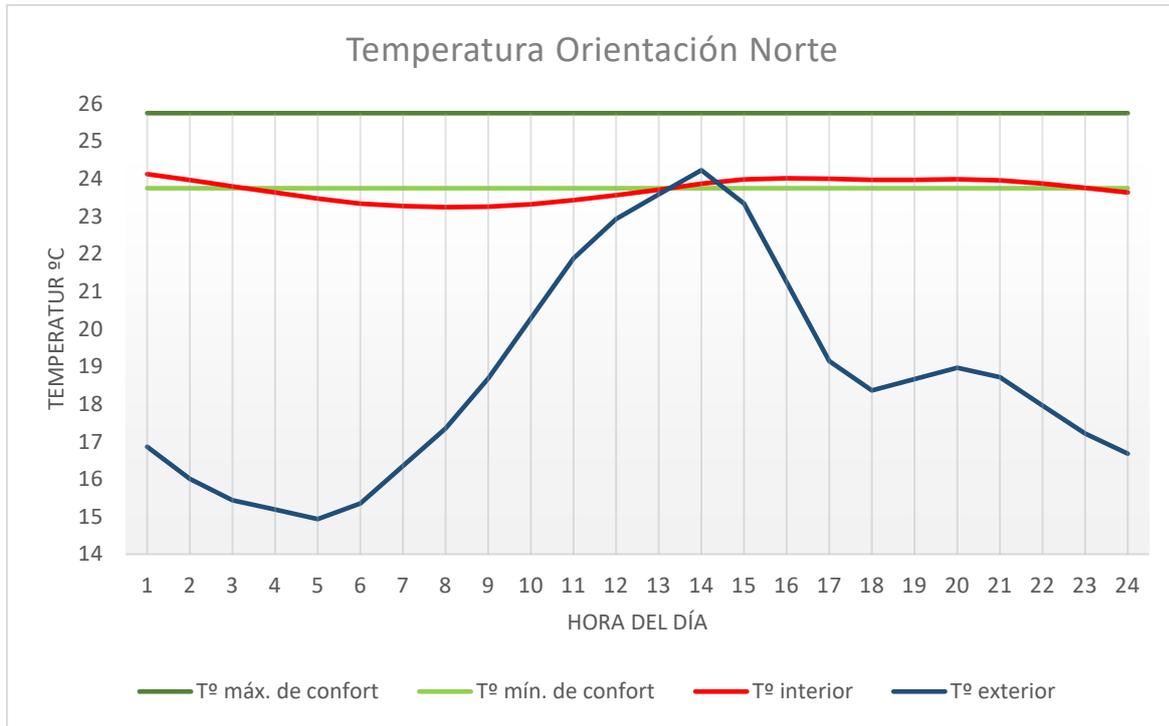


Figura 5.8. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo de Roma orientada a Norte.

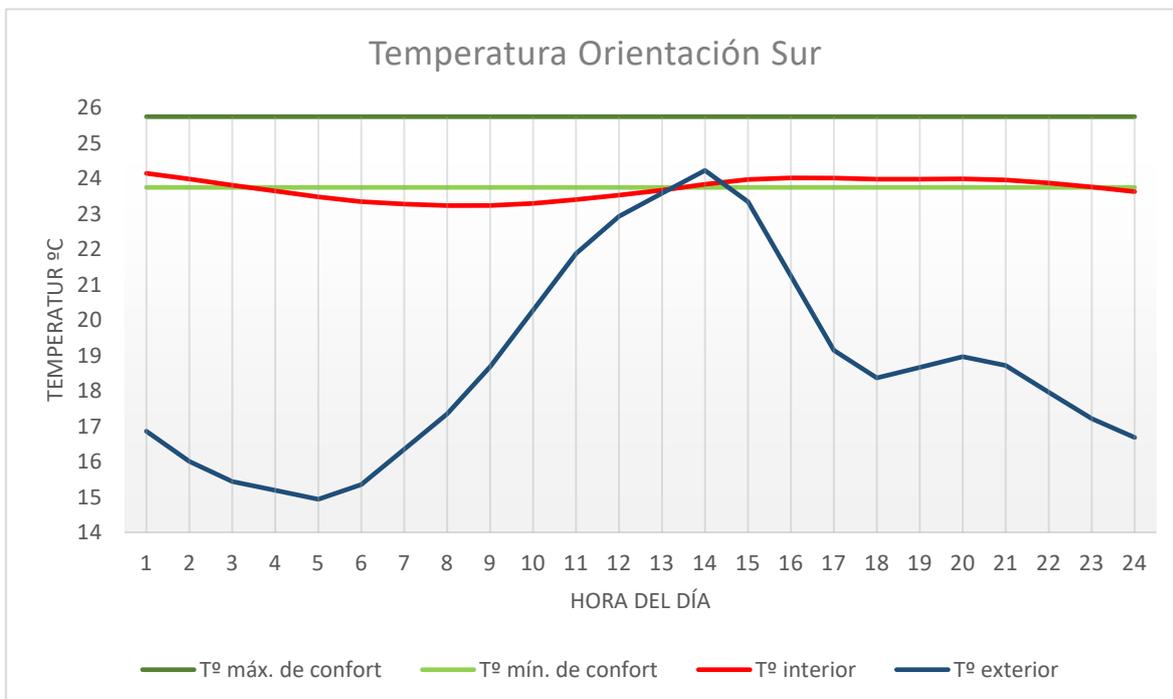


Figura 5.9. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo de Roma orientada a Sur.

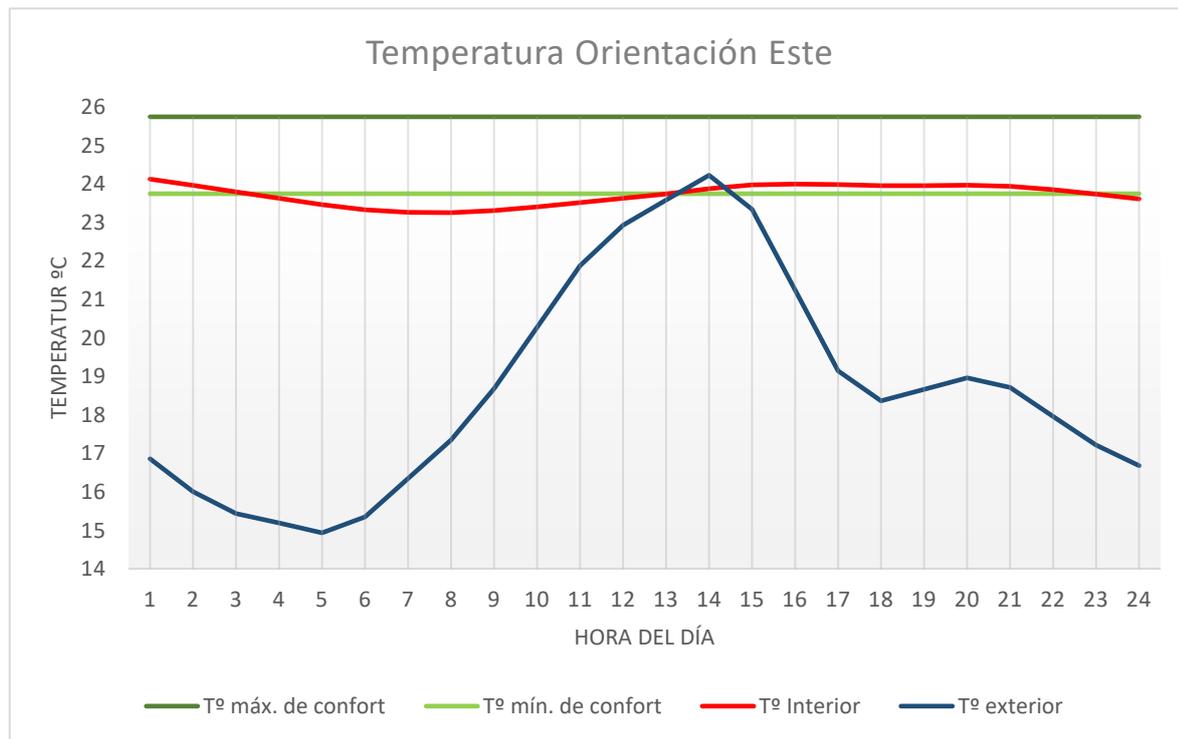


Figura 5.10. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo de Roma orientada a Este.

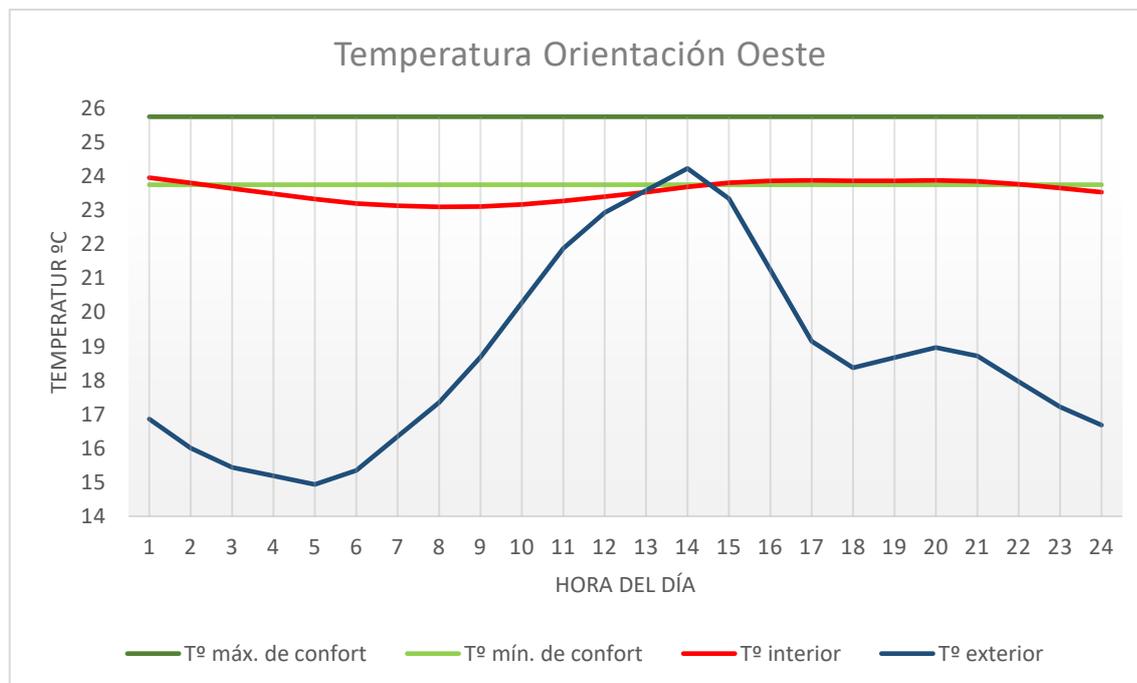


Figura 5.11. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo de Roma orientada a Oeste.

Para valorar más detalladamente el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, se representan en la siguiente gráfica la variación de temperatura interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones. De esta manera, se aprecian mejor las pequeñas diferencias de temperatura interior en función de la orientación del cerramiento.

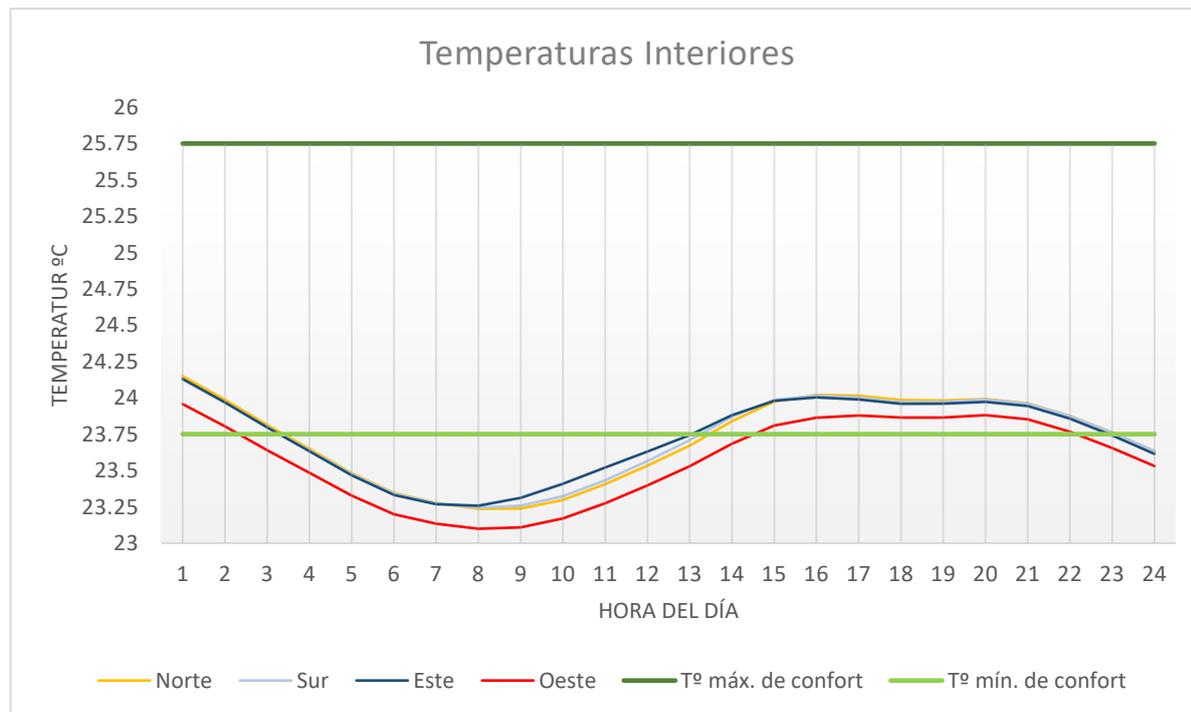


Figura 5.12. Gráfica de la oscilación de las temperaturas interiores de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo de Roma orientada en cada una de las orientaciones.

Como podemos observar en las gráficas anteriores (Figuras 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12), la variación de temperatura interior a lo largo del día mediante las diferentes orientaciones de la envolvente del prototipo del equipo de Roma tiene a simple vista un comportamiento similar. Esto se debe principalmente a la poca superficie de envolvente que está en contacto con el aire exterior en la celda de ensayo, lo que provoca una diferencia mínima de temperatura en el interior de la celda para cada una de las orientaciones analizadas. La temperatura interior se mantiene entre los 23°C y 24.25°C a lo largo del día en cada una de las orientaciones, variando su valor en función de la temperatura exterior. En las gráficas (Figuras 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12) se observa cómo la temperatura exterior varía considerablemente entre la noche y el día, lo que afecta a la temperatura interior. Comprobamos en las gráficas cómo cuando aumenta la temperatura exterior, va aumentando la temperatura interior, pero con una oscilación de temperatura menor. Lo mismo ocurre, pero de forma inversa cuando la temperatura exterior disminuye desde las horas finales de la tarde hasta la mañana del día siguiente.

Teniendo en cuenta las bases del concurso en la prueba de temperatura interior del apartado de condiciones de confort, tras realizar el análisis comprobamos que la temperatura interior se mantiene en el intervalo de 23,75 °C a 25,75 °C calculado en el apartado “4.2. Bases concurso SD EUROPA 2019: Szentendre, Hungría.” (T° mínima de confort y T° máxima de confort en la gráfica) durante varias horas de la tarde. Este intervalo se establece para posteriormente realizar el reparto de puntos entre los diferentes equipos. Por otro lado, debemos tener en cuenta que la envolvente fue diseñada para un clima diferente y que el margen de temperatura operativa está calculado con las temperaturas medias de una localización diferente los días previos a la prueba, como es en este caso Szentendre, Hungría. Por ello, valoramos positivamente las características del cerramiento, capaz de mantener la temperatura interior prácticamente casi constante con una oscilación térmica mínima, lo que nos permite poder regular la temperatura interior mediante sistemas de climatización sin que nos afecte en el interior las mayores oscilaciones de la temperatura exterior a lo largo del día.

También observamos cómo en las primeras horas del día en las cuatro orientaciones la temperatura se mantiene dentro de esa banda de confort (Figura 5.12), prácticamente de forma similar en todas las orientaciones excepto en la orientación Oeste, la cual muestra una temperatura un poco inferior. Esta temperatura dentro de la banda de confort en las primeras horas del día se debe a las altas temperaturas del día previo, el 28 de junio, la cuales aumentan la temperatura interior varios grados respecto a las que se muestran en la gráfica del día 29 de junio. Dicha diferencia de temperatura entre la orientación Oeste y el resto de las orientaciones, va disminuyendo a lo largo del día, ya que la orientación Oeste cuando más radiación solar incide sobre la envolvente es en las últimas horas del día, lo que hace que aumente la temperatura de la envolvente y por lo tanto la temperatura interior. Sin embargo, en la orientación Este ocurre lo contrario, en las primeras horas de la mañana, la temperatura interior es superior al resto de las orientaciones, ya que es cuando más incidencia solar recibe la envolvente.

Para valorar el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, se representa en la siguiente gráfica la variación de humedad interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, además del rango de humedad mínima y humedad máxima de confort establecidas por las bases del concurso.

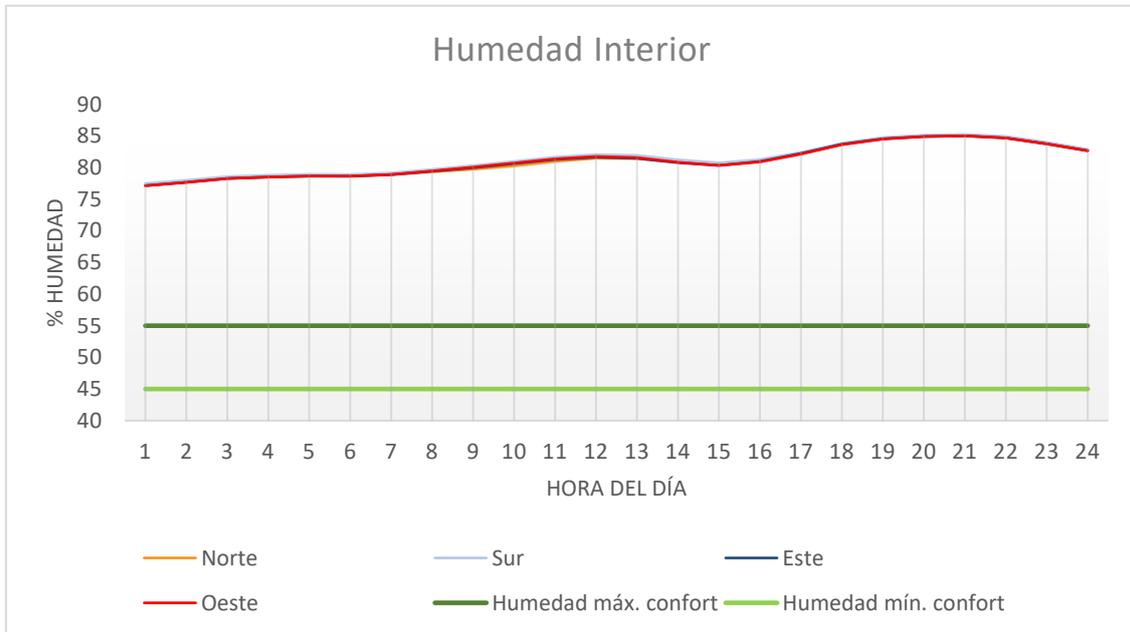


Figura 5.13. Gráfica de la oscilación de la Humedad interior de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo de Roma orientada en cada una de las orientaciones.

Al igual que ocurre con la temperatura interior de la celda de ensayo, la humedad interior de la misma tiene unos resultados similares en cada una de las orientaciones analizadas (Figura 5.12), incluso diferencias mucho menores que las de temperatura en cada orientación. Esto se debe, como ocurría con la temperatura interior de la celda, a la poca superficie de envolvente que está en contacto con el aire exterior, lo que provoca que las diferencias de variación de humedad interior entre las orientaciones Norte, Sur, Este y Oeste sean mínimas.

Por otro lado, teniendo en cuenta las bases del concurso para la prueba de humedad, observamos en la gráfica que la humedad interior se encuentra muy por encima del intervalo de porcentaje (45% -55%) que establece la organización para la obtención de la totalidad de la puntuación en dicha prueba, como se explicó en el apartado 4.2 de este Trabajo Fin de Grado. Sin embargo, debemos ser conscientes de que esto no es más que una virtualización de la realidad a través de un modelo. Dicho modelo, explicado anteriormente, se encuentra totalmente cerrado sin la existencia de ventilación, lo que perjudica en gran parte la humedad interior y es la principal causa de que los porcentajes de humedad sean tan elevados como observamos en la gráfica. Además, la gráfica nos muestra que la oscilación del porcentaje de humedad es mínima, estando entre el 75 % y el 85 % durante todo el día.

## 02CerramientoPrototipo Philèas

El equipo Philèas fue el subcampeón de la edición de la que parte como base este Trabajo Fin de Grado, consiguiendo un total de 839.75 puntos. De todos ellos, en la prueba de Condiciones de confort consiguió obtener 101.82 puntos, quedando en tercer lugar en dicha prueba.

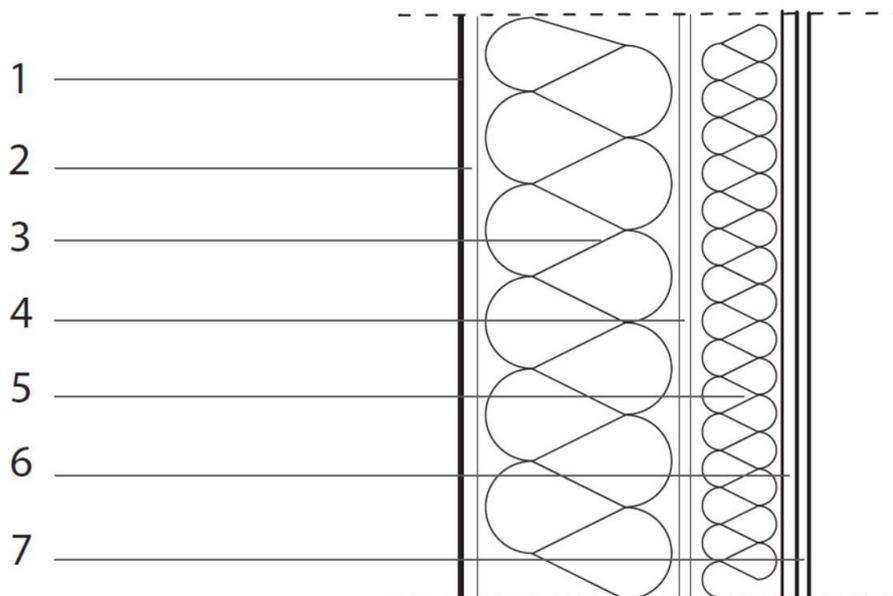


Figura 5.14. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Philèas.

Nº	Capas (Exterior-Inerior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m2K)
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	<b>0.10</b>
1	Impermeabilizante Stamisol	0.70	/	/	
2	Madera contrachapada	15.00	0.130	0.12	
3	Aislamiento térmico de lana de roca	220.00	0.035	6.29	
4	Madera contrachapada	15.00	0.130	0.12	
5	Aislamiento térmico de lana de roca	100.00	0.035	2.86	
6	Placa de Yeso	16.00	0.200	0.08	
7	Fibra de Yeso	13.00	0.320	0.04	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>379.70</b>	<b>/</b>	<b>9.66</b>	

Figura 15. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Philèas.

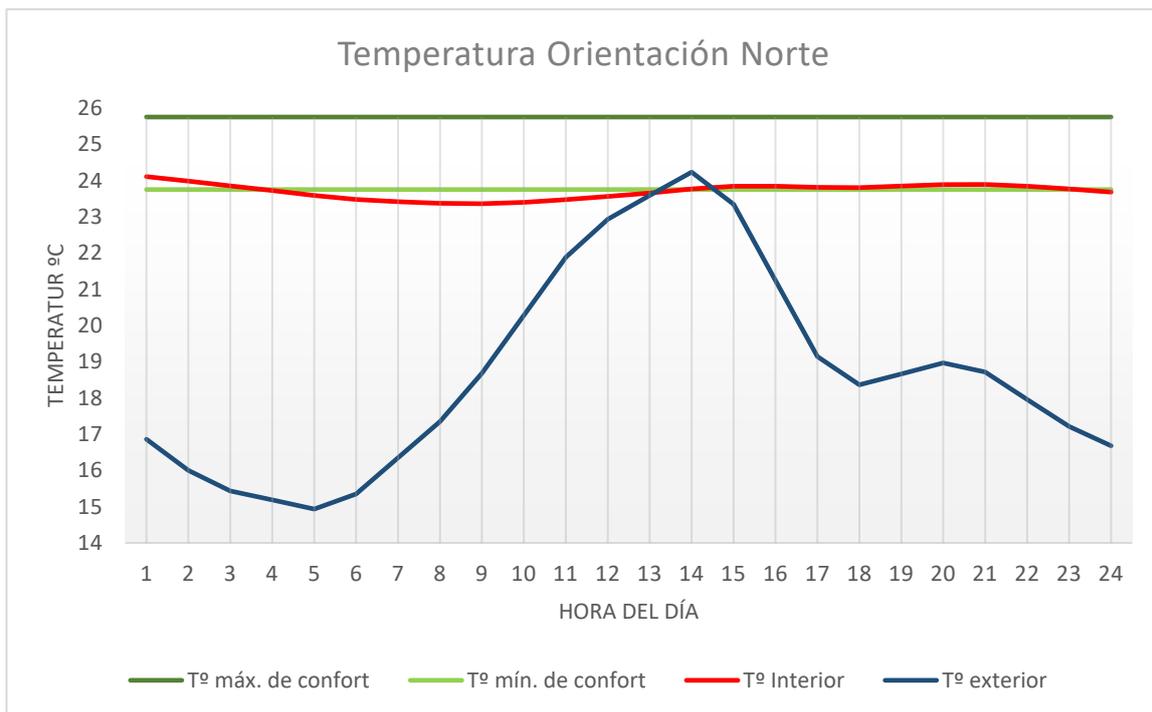


Figura 5.16. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Philèas orientada a Norte.

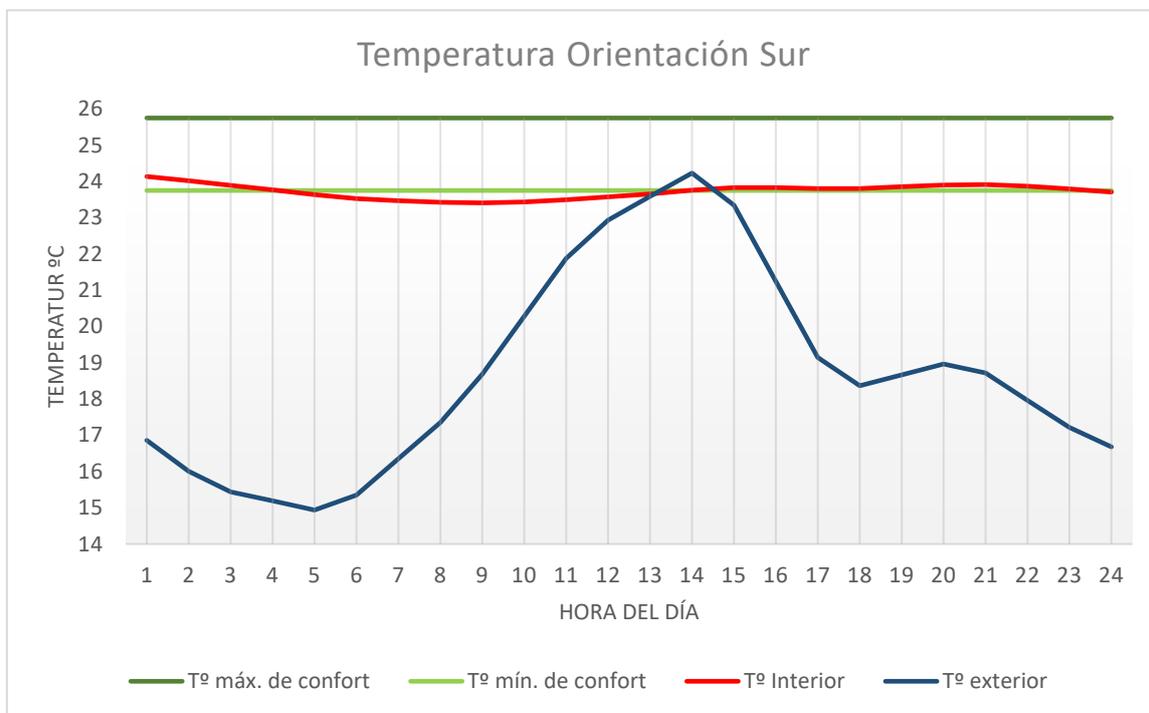


Figura 5.17. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Philèas orientada a Sur.

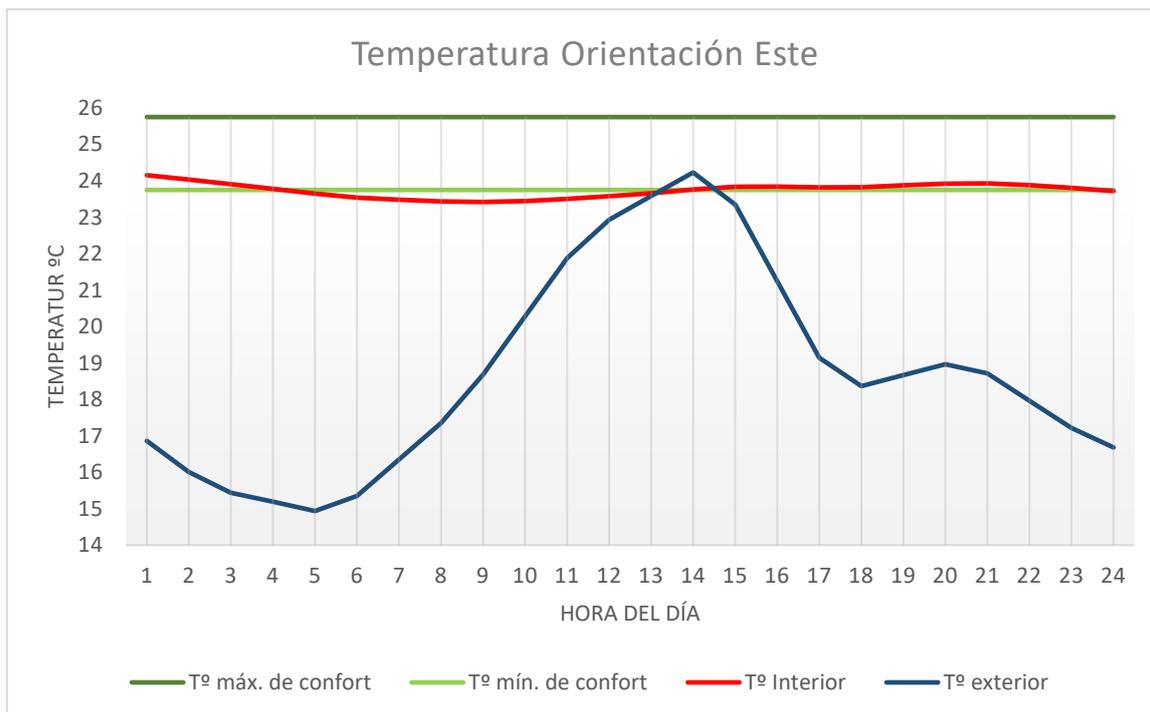


Figura 5.18. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Philèas orientada a Este.

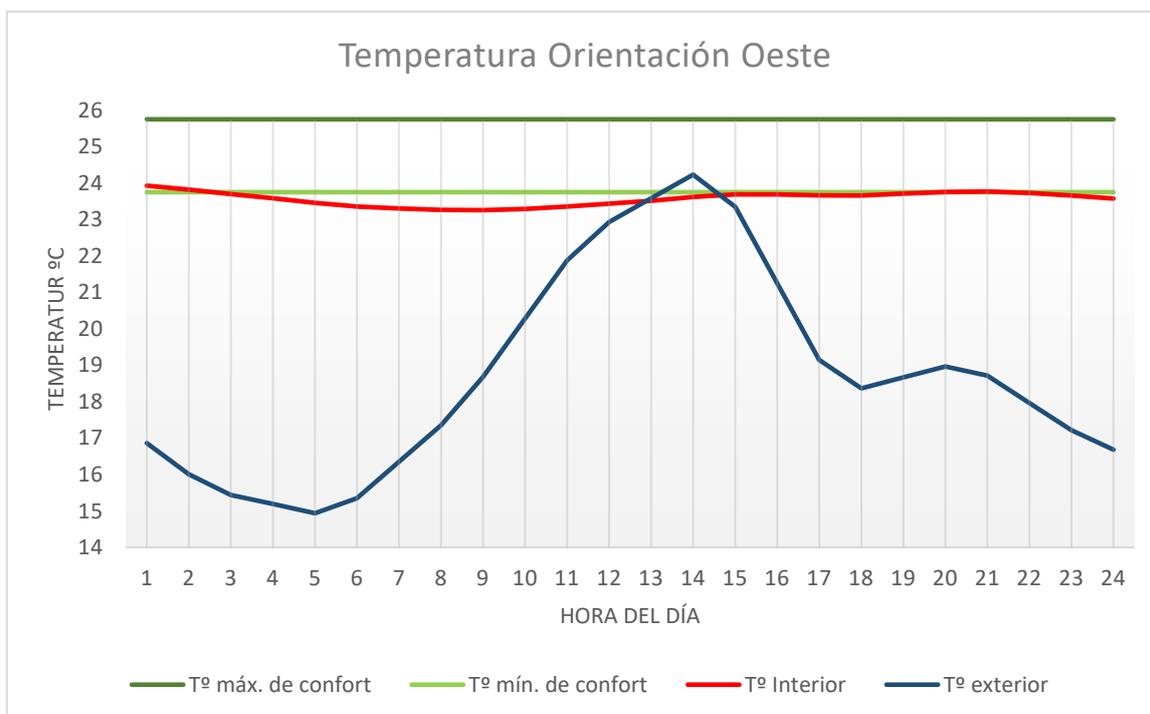


Figura 5.19. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Philèas orientada a Oeste.

Al igual que la envolvente anterior, se representa en una sola gráfica el comportamiento de la envolvente a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, de manera que se puedan apreciar mejor las mínimas diferencias que existen entre cada una de ellas.

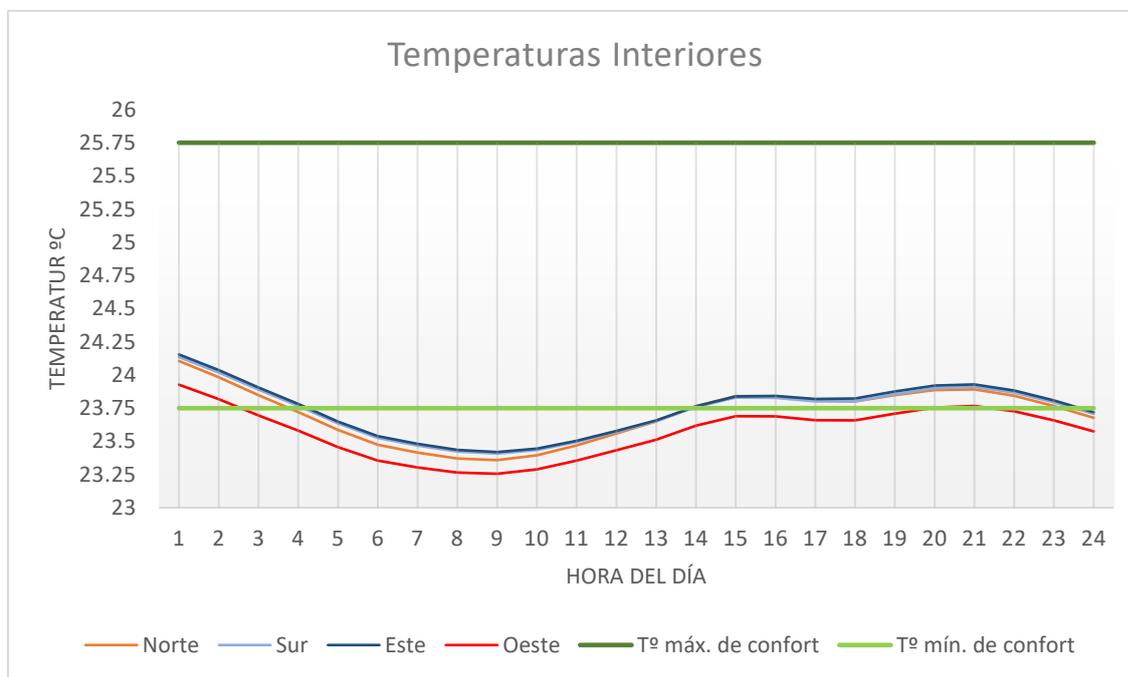


Figura 5.20. Gráfica de la oscilación de las temperaturas interiores de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Philèas orientada en cada una de las orientaciones.

Como podemos observar en las gráficas anteriores (Figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20), la variación de temperatura interior a lo largo del día mediante las diferentes orientaciones de la envolvente del prototipo del equipo Philèas tiene a simple vista un comportamiento similar como ocurría con la envolvente del equipo de Roma. Esto se debe principalmente, como ya se explicó anteriormente, a la poca superficie de envolvente que está en contacto con el aire exterior en la celda de ensayo, lo que provoca una diferencia mínima de temperatura en el interior de la celda para cada una de las orientaciones analizadas. La temperatura interior se mantiene entre los 23.25°C y 24.25°C a lo largo del día en cada una de las orientaciones, variando su valor en función de la temperatura exterior. En las gráficas (Figuras 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20) se observa cómo la temperatura exterior varía considerablemente entre la noche y el día, lo que afecta a la temperatura interior. Comprobamos en la gráfica cómo cuando aumenta la temperatura exterior, va aumentando la temperatura interior, pero con una oscilación de temperatura menor. Lo mismo ocurre, pero de forma inversa cuando la temperatura exterior disminuye desde las horas finales de la tarde hasta la mañana del día siguiente. La gran diferencia con la envolvente del equipo de Roma es la oscilación de temperatura, en este caso la envolvente del equipo Philèas tiene una transmitancia térmica ligeramente menor y por lo tanto la variación de temperatura interior se ve afectada en menor medida por la temperatura exterior.

También observamos cómo en las primeras horas del día en las cuatro orientaciones la temperatura se mantiene dentro de esa banda de confort como ocurría con el cerramiento del equipo de Roma, prácticamente de forma similar en todas las orientaciones excepto en la orientación Oeste, la cual muestra una temperatura un poco inferior. Esta temperatura dentro de la banda de confort en las primeras horas del día se debe a las altas temperaturas del día previo, el 28 de junio, la cuales aumentaron la temperatura interior varios grados respecto a las que se muestran en la gráfica del día 29 de junio. Dicha diferencia de temperatura entre la orientación Oeste y el resto de las orientaciones presenta un cambio respecto a lo que ocurría con la envolvente del equipo de Roma, en este caso, la diferencia entre la temperatura interior con la envolvente orientada a Oeste y con la envolvente orientada al resto de orientaciones se mantiene prácticamente constante durante todo el día debido a la poca transmitancia que tiene la envolvente de este equipo, lo que hace que la temperatura exterior afecte menos a la temperatura interior. Por otro lado, en la orientación Norte en las primeras horas del día existe una pequeña diferencia de temperatura interior respecto a las orientaciones Sur y Este. Esto puede deberse a la poca incidencia solar que recibe la envolvente orientada a Norte, causando una temperatura inferior en las primeras horas del día. Sin embargo, una vez que empieza a subir la temperatura exterior por la mañana de forma considerable, la temperatura interior aumenta y se comporta igual que cuando la envolvente está orientada a Sur o a Este.

Como ya se explicó en el análisis del cerramiento del equipo de Roma, el intervalo de temperatura de confort establecido por la organización está entre los 23,75 °C y los 25,75 °C. Teniendo en cuenta estos valores ( $T^{\circ}$  mínima de confort y  $T^{\circ}$  máxima de confort en la gráfica), observamos que ) durante varias horas de la tarde, excepto con la envolvente orientada a Oeste, debido a que recibe menos incidencia solar a lo largo del día y por lo tanto afecta en menor medida a la temperatura interior que en el resto de las orientaciones. Con este análisis comprobamos que, debido a la baja transmitancia de la envolvente, la temperatura exterior no afecta en gran medida a la temperatura interior, consiguiendo así una oscilación térmica mínima. Sin embargo, esto hace que la temperatura interior se mantenga en la parte baja de la banda de confort durante unas horas y prácticamente fuera de ella el resto. Una posible solución podría ser el aumento de la transmitancia de la envolvente con una reducción de aislamiento, consiguiendo así aumentar también la temperatura interior para que se mantenga durante más horas del día dentro de esa banda de confort.

Para valorar el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, también se representan en la siguiente gráfica la variación de humedad interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, además del rango de humedad mínima y humedad máxima de confort establecidas por las bases del concurso para obtener la máxima puntuación en la prueba de humedad de la temática de Condiciones de confort.

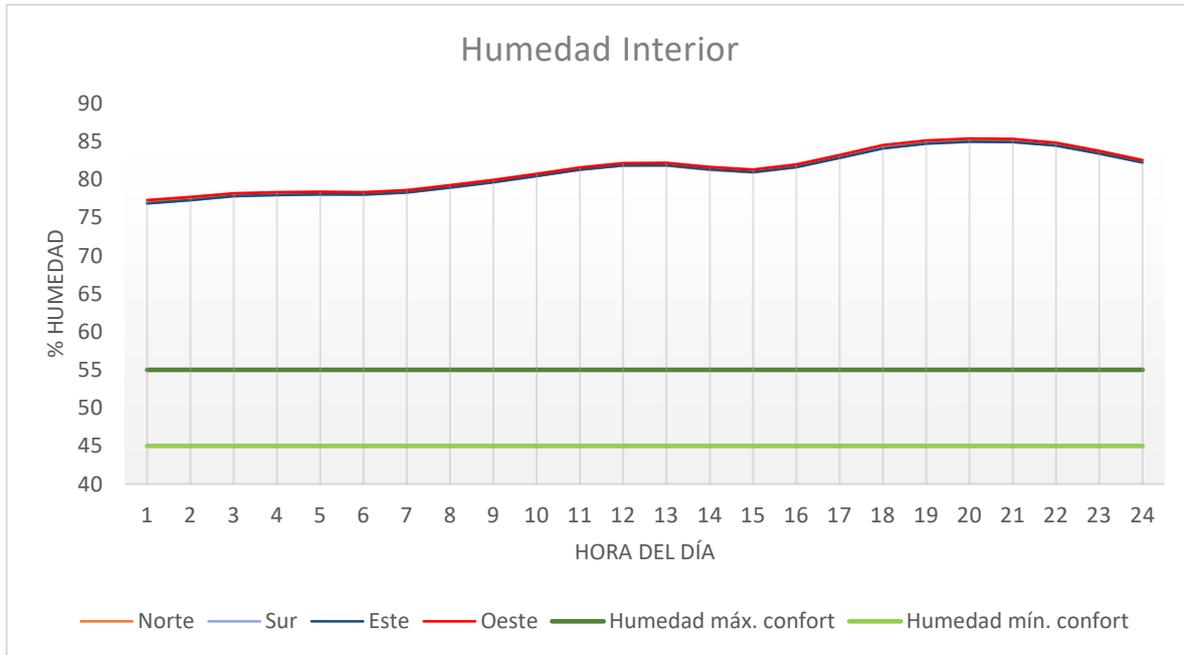


Figura 5.21. Gráfica de la oscilación de la Humedad interior de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Philèas orientada en cada una de las orientaciones.

Al igual que ocurre con la temperatura interior de la celda de ensayo, la humedad interior de la misma tiene unos resultados similares en cada una de las orientaciones analizadas (Figura 5.21), incluso diferencias mucho menores que las de temperatura en cada orientación. Esto se debe, como se ha mencionado anteriormente en las anteriores envolventes, a la poca superficie de envolvente que está en contacto con el aire exterior, lo que provoca que las diferencias de variación de humedad interior entre las orientaciones Norte, Sur, Este y Oeste sean mínimas.

Por otro lado, teniendo en cuenta las bases del concurso para la prueba de humedad, observamos en la gráfica que la humedad interior se encuentra muy por encima del intervalo de porcentaje (45% - 55%) que establece la organización para la obtención de la totalidad de la puntuación en dicha prueba. Sin embargo, debemos ser conscientes de que esto no es más que una virtualización de la realidad a través de un modelo. Dicho modelo, explicado anteriormente, se encuentra totalmente cerrado sin la existencia de ventilación, lo que perjudica en gran parte la humedad interior y es la principal causa de que los porcentajes de humedad sean tan elevados como observamos en la gráfica. Además, la gráfica nos muestra que la oscilación del porcentaje de humedad es mínima, estando entre el 75 % y el 85 % durante todo el día.

## 03CerramientoPrototipo Rooftop

El equipo Rooftop quedó en cuarto lugar en la edición de la que parte como base este Trabajo Fin de Grado, consiguiendo un total de 823.42 puntos. De todos ellos, en la prueba de Condiciones de confort consiguió obtener 96.26 puntos, quedando en cuarto lugar en dicha prueba.

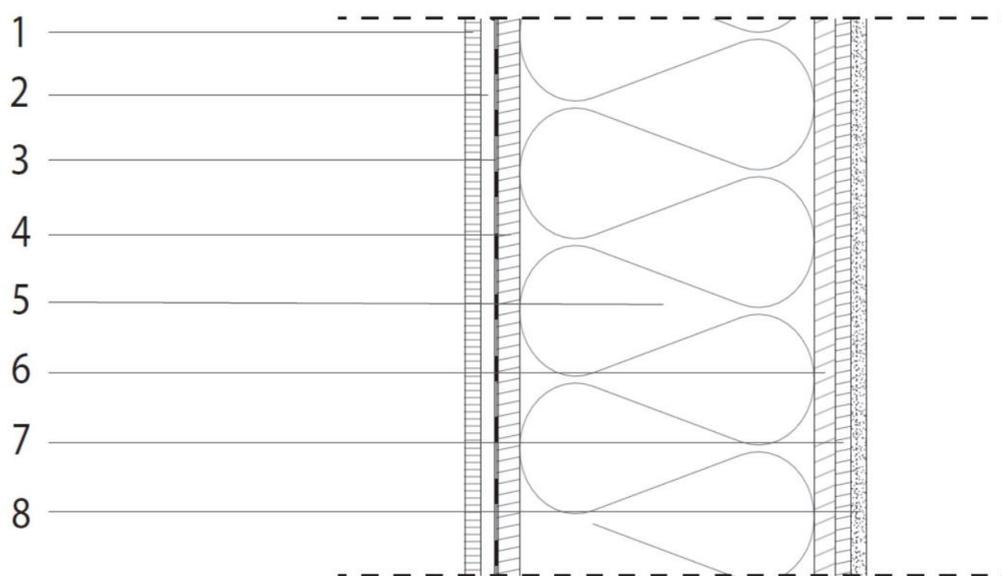


Figura 5.22. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Rooftop.

Nº	Capas (Exterior-Inerior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m <sup>2</sup> K)
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	<b>0.12</b>
1	Tablero de Madera	16.00	0.096	0.17	
2	Cámara de Aire Estática	20.00	0.170	0.12	
3	Lámina impermeabilizante polietileno	1.00	/	/	
4	Tablero OSB	22.00	0.130	0.17	
5	Fibra de Madera de Baja Densidad	280.00	0.038	7.37	
6	Tablero fibra de madera flexible	20.00	0.150	0.13	
7	Tablero OSB	15.00	0.130	0.12	
8	Fibra de yeso	15.00	0.320	0.05	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>389.00</b>	/	<b>8.29</b>	

Figura 5.23. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Rooftop.

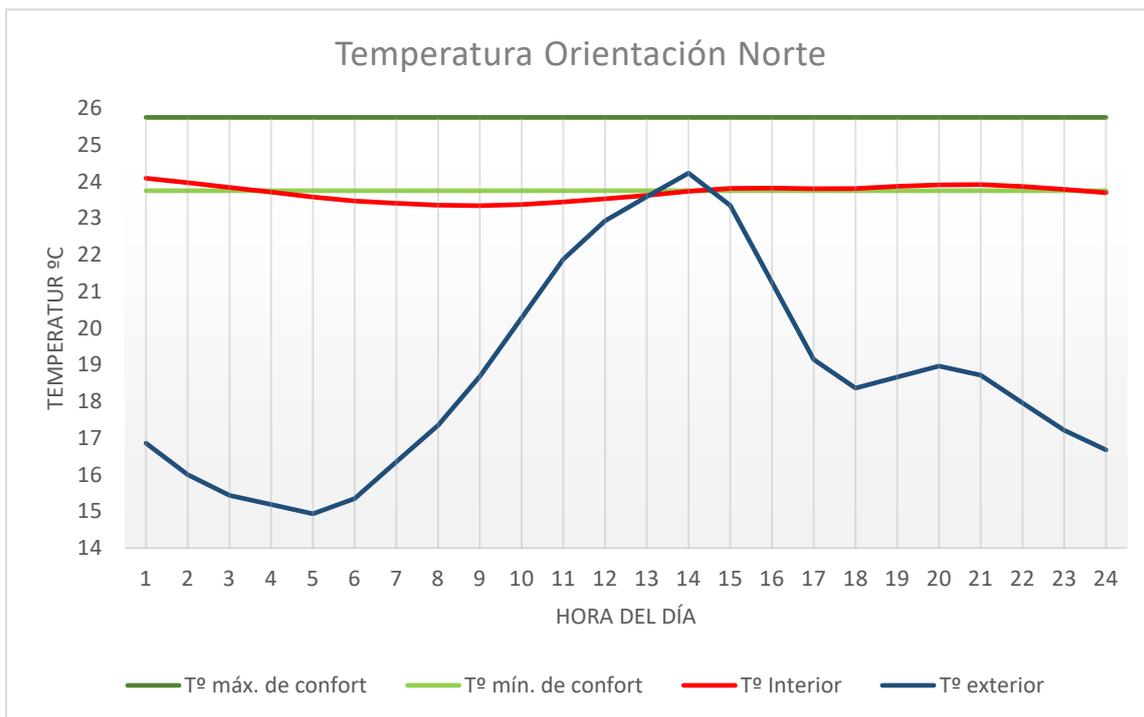


Figura 5.24. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Rooftop orientada a Norte.

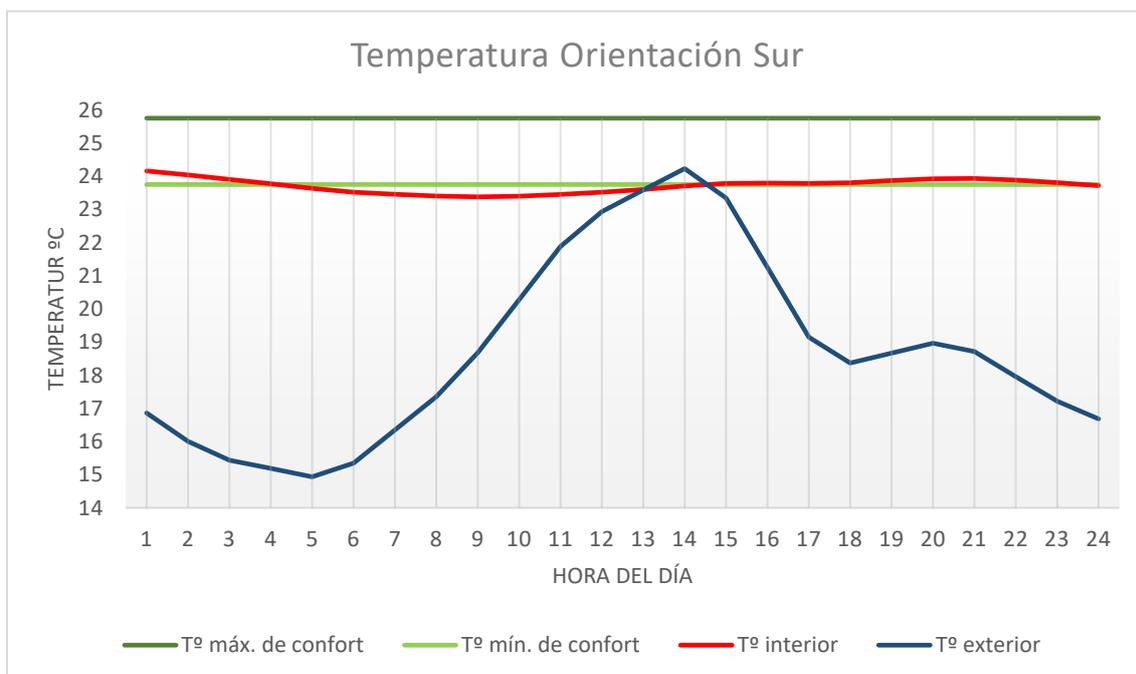


Figura 5.25. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Rooftop orientada a Sur.

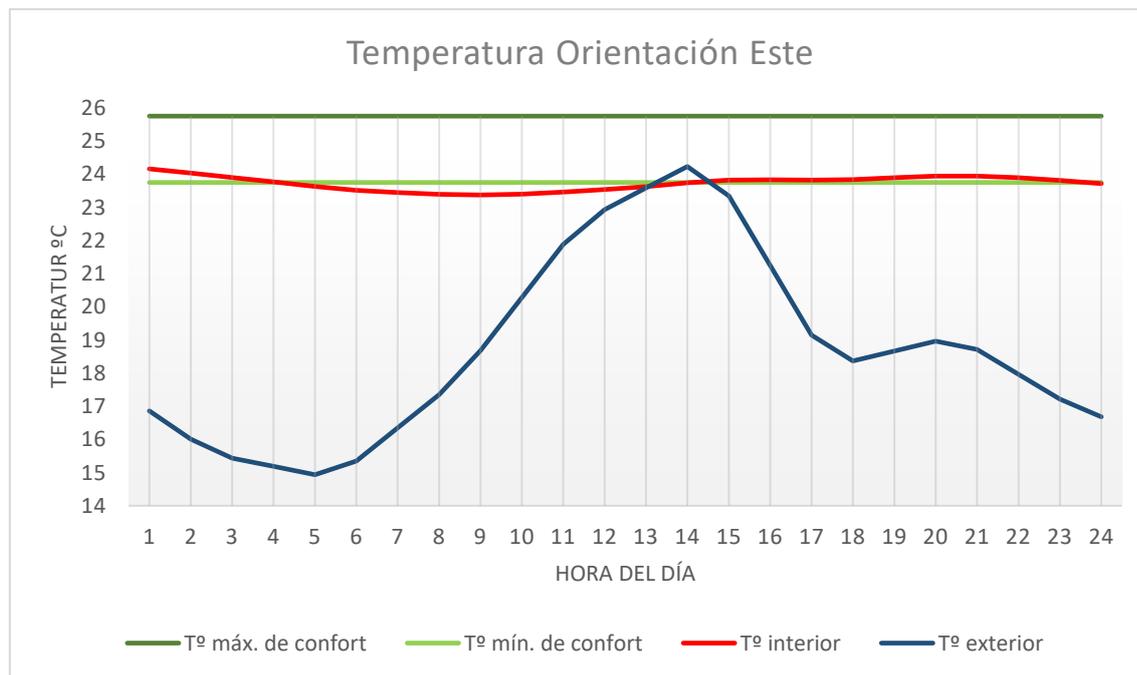


Figura 5.26. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Rooftop orientada a Este.

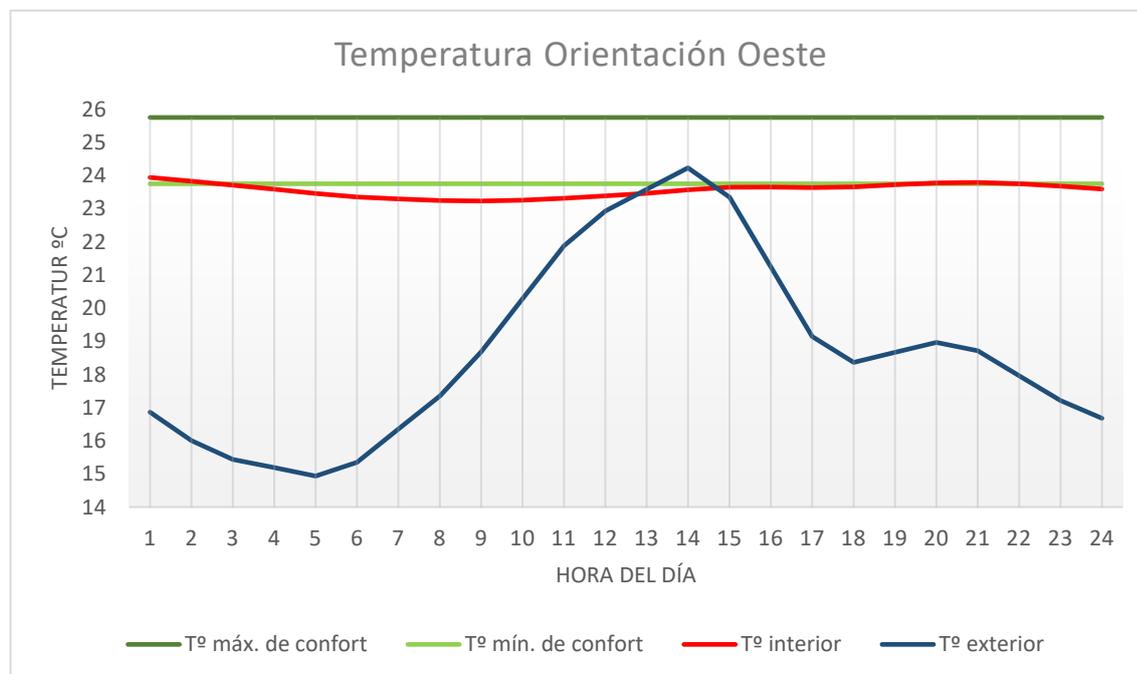


Figura 5.27. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Rooftop orientada a Oeste.

Al igual que la envolvente anterior, se representa en una sola gráfica el comportamiento de la envolvente a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, de manera que se puedan apreciar mejor las mínimas diferencias que existen entre cada una de ellas.

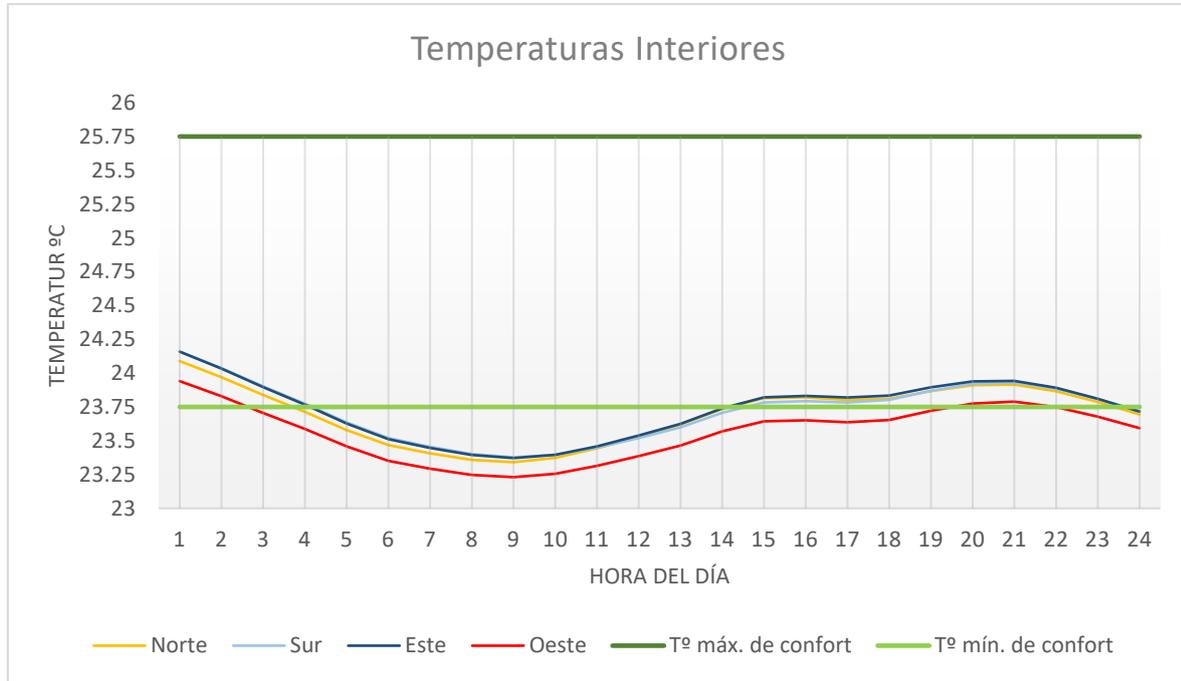


Figura 5.28. Gráfica de la oscilación de las temperaturas interiores de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Rooftop orientada en cada una de las orientaciones.

Como se puede comprobar en las gráficas anteriores (Figuras 5.24, 5.25, 5.26, 5.27 y 5.28), la temperatura en las diferentes orientaciones es similar como ocurría en los análisis anteriores, por lo que dada su similitud tanto en valores como en comportamiento de esta envolvente con la envolvente del equipo Phileas se señalarán simplemente las pequeñas diferencias que se observan entre ellas.

Una de las diferencias que presenta la envolvente respecto a la del equipo Phileas, se debe a su mayor transmitancia, lo que conlleva a afectar en mayor medida la temperatura interior. Esto hace que la diferencia de temperatura de esta envolvente orientada a Oeste y al resto de las orientaciones no se mantenga constante a lo largo del día, sino que se parecía una menor diferencia en las primeras horas de la mañana, cuando la temperatura es menor.

Otra de las diferencias se encuentra cuando la envolvente está orientada a Norte, pues igual que ocurría con la envolvente del equipo Phileas, en las primeras horas del día se aprecia una temperatura menor respecto a la envolvente orientada a Este y a Sur que no se observa el resto del día. Sin embargo, esta envolvente a Norte hace que la temperatura interior aumente y se comporte igual que cuando la envolvente se orienta a Este o a Sur unas horas antes como ocurría en la envolvente del equipo Phileas.

Para valorar el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, se representará igual que anteriormente en la siguiente gráfica la variación de humedad interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, además del rango de humedad mínima y humedad máxima de confort establecidas por las bases del concurso para obtener la máxima puntuación en la prueba de humedad de la temática de Condiciones de confort.

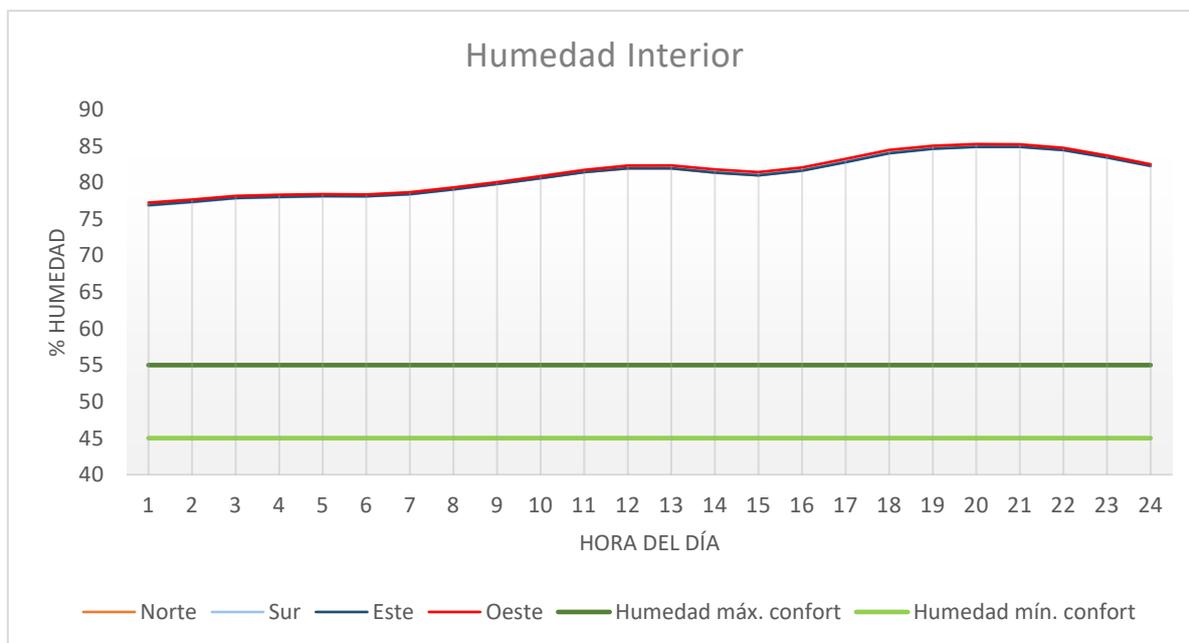


Figura 5.29. Gráfica de la oscilación de la Humedad interior de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Rooftop orientada en cada una de las orientaciones.

De la misma manera que ocurría con la temperatura, ocurre con la humedad interior, existiendo similitud en los valores y en el comportamiento de la envolvente frente a la humedad interior. Dada esta similitud respecto a los análisis de los cerramientos anteriores, se obviará repetir dicho análisis, teniendo en cuenta que la solución para reducir la humedad hasta que se encuentre en la banda de humedad de confort podría ser la misma en cualquiera de las envolventes.

## 04CerramientoPrototipo Your+

El equipo Your+ quedó en la quinta posición de la edición de la que parte como base este Trabajo Fin de Grado, consiguiendo un total de 804.75 puntos. De todos ellos, en la prueba de Condiciones de confort consiguió obtener 107.59 puntos, quedando en primer lugar en dicha prueba.

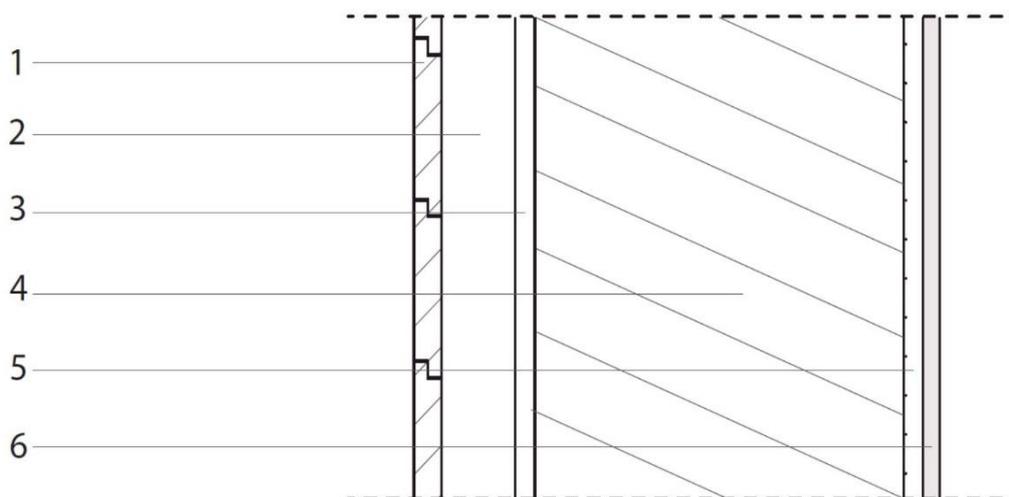


Figura 5.30. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Your+.

Nº	Capas (Exterior-Inerior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m <sup>2</sup> K)
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	<b>0.11</b>
1	Abeto blanco	21.00	0.096	0.22	
2	Cámara de Aire Estática	30.00	0.170	0.18	
3	Tablero fibra de madera flexible	15.00	0.150	0.10	
4	Aislamiento térmico de lana de roca	280.00	0.035	8.00	
5	Barrera de vapor	1.00	/	/	
6	Placa de Yeso	12.50	0.200	0.06	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>359.50</b>	/	<b>8.73</b>	

Figura 5.31. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Your+.

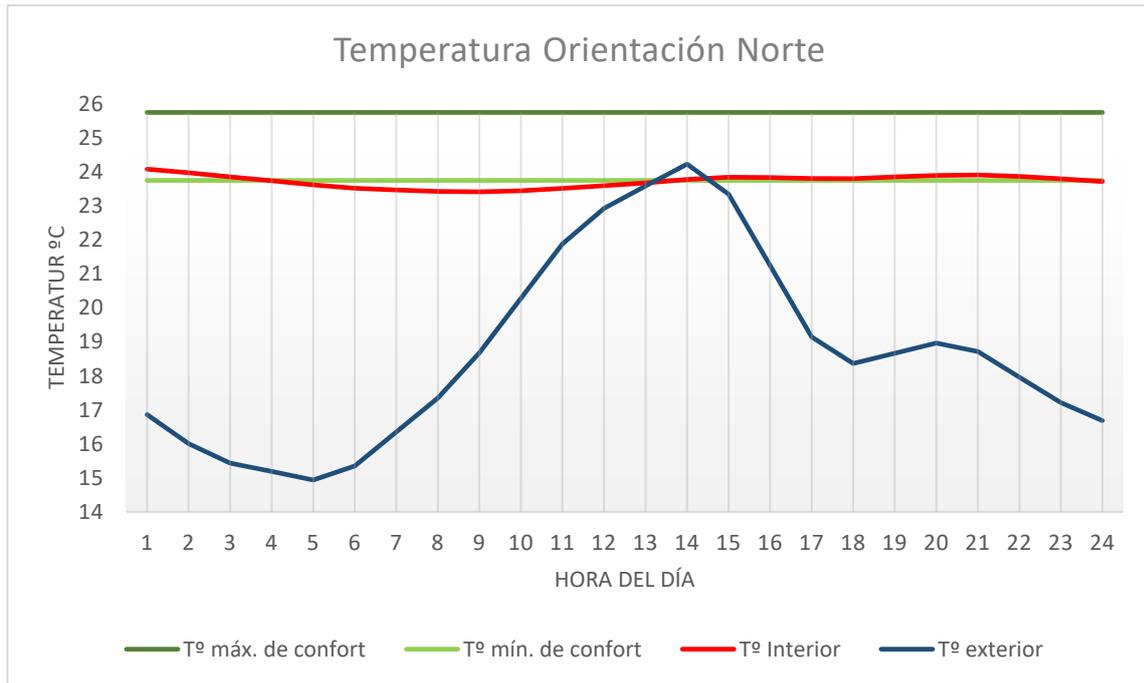


Figura 5.32. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Your+ orientada a Norte.

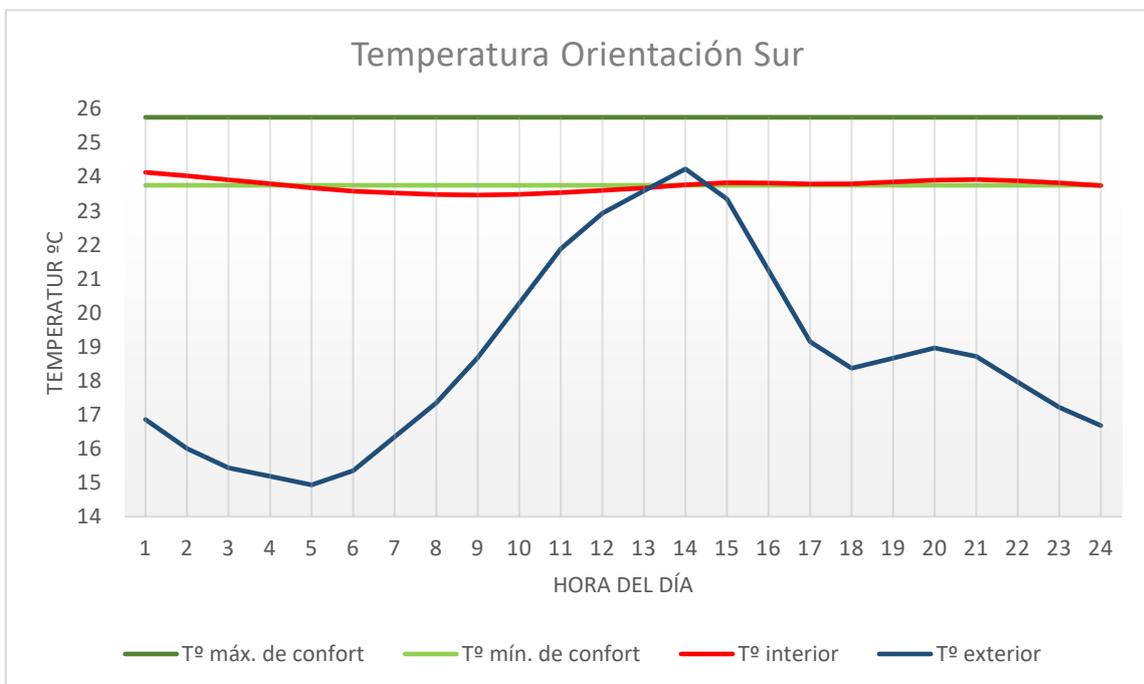


Figura 5.33. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Your+ orientada a Sur.

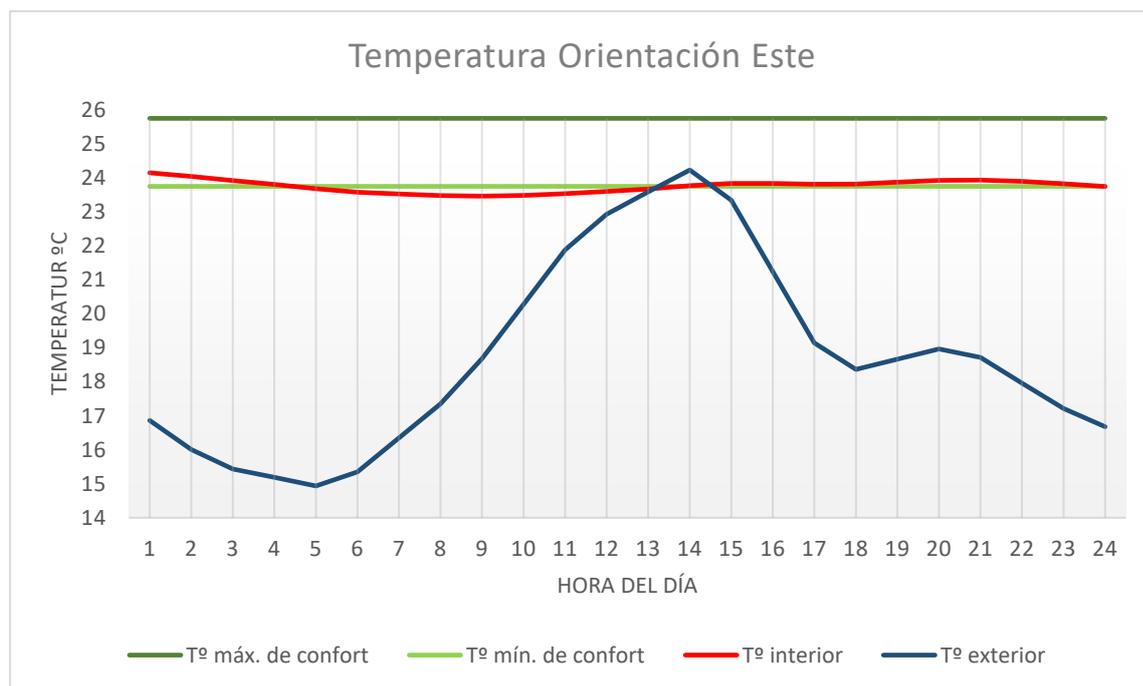


Figura 5.34. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Your+ orientada a Este.

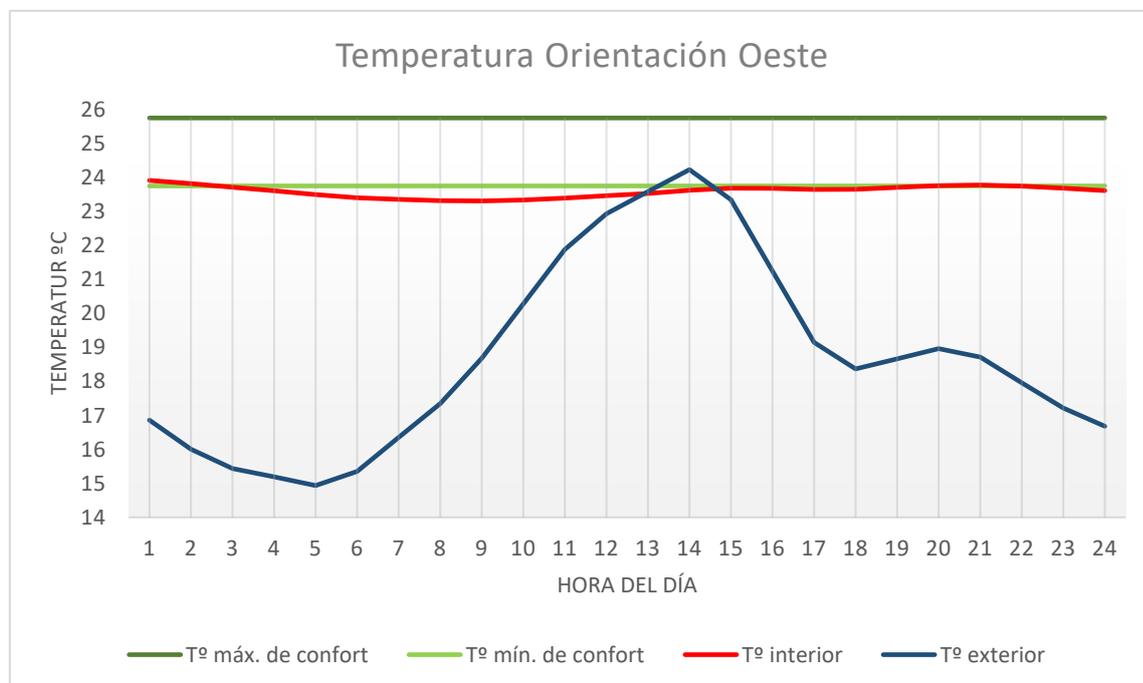


Figura 5.35. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Your+ orientada a Oeste.

Para valorar el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, se representará igual que anteriormente en la siguiente gráfica la variación de humedad interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, además del rango de humedad mínima y humedad máxima de confort establecidas por las bases del concurso para obtener la máxima puntuación en la prueba de humedad de la temática de Condiciones de confort.

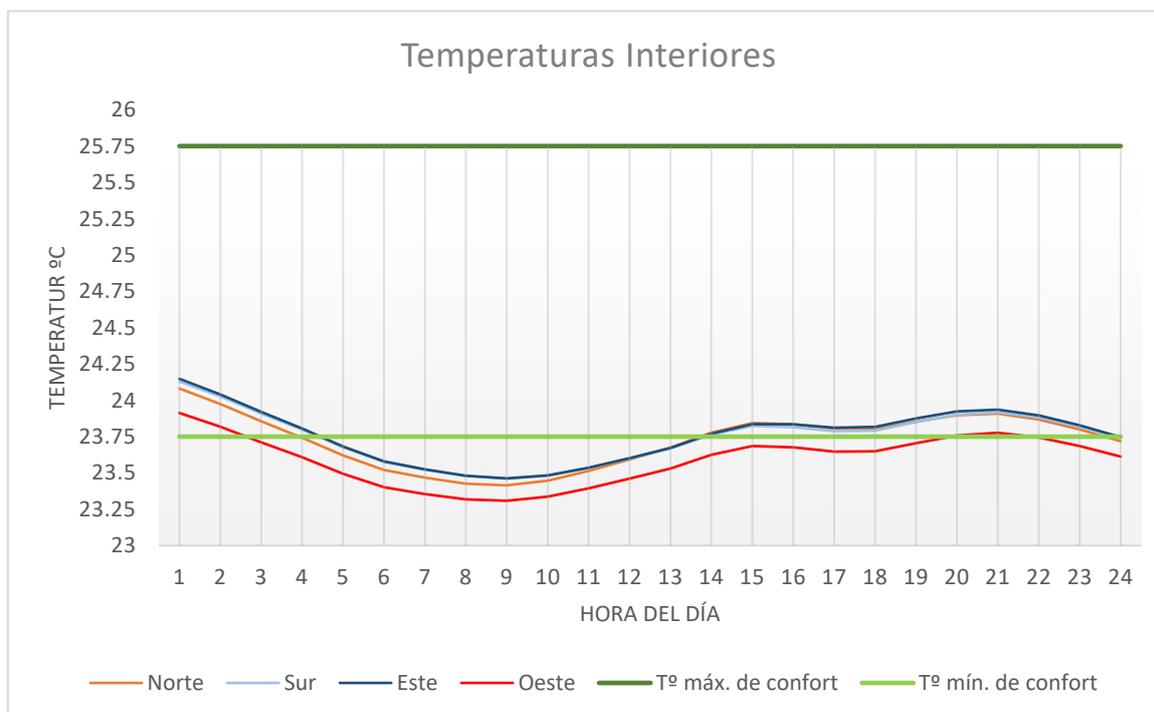


Figura 5.36. Gráfica de la oscilación de las temperaturas interiores de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Your+ orientada en cada una de las orientaciones.

Como se puede comprobar en las gráficas anteriores (Figuras 5.16,5.17,5.18,5.19 y 5.20), la temperatura en las diferentes orientaciones es similar como ocurría en los análisis del resto de envolventes, por lo que dada su similitud tanto en valores como en el comportamiento de esta envolvente con la envolvente del equipo Phileas se obviará repetir dicho análisis asociando este al de la envolvente mencionada y señalando únicamente las diferencias que se observan,

Teniendo en cuenta que la envolvente tiene una transmitancia baja, muy similar a la de la envolvente del equipo Phileas, no se observa ninguna diferencia considerable entre ellas. Únicamente se podría destacar la temperatura cuando la envolvente está orientada a Oeste, pues desde las 20:00 hasta las 22:00 la temperatura interior que mantiene esta envolvente es algo superior a la que mantiene la envolvente del equipo Phileas durante las mismas horas del día, debido a la pequeña diferencia de transmitancia entre ellas. Se destaca dicha diferencia por encontrarse en el límite inferior de la banda de confort, de manera que la envolvente del equipo Phileas al mantener una temperatura inferior, esta se encuentra fuera de dicha banda de confort sobrepasando el límite de esta.

Para valorar el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, como se viene desarrollando el Trabajo Fin de Grado, en la siguiente gráfica se mostrará la variación de humedad interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, además del rango de humedad mínima y humedad máxima de confort establecidas por las bases del concurso para obtener la máxima puntuación en la prueba de humedad de la temática de Condiciones de confort.

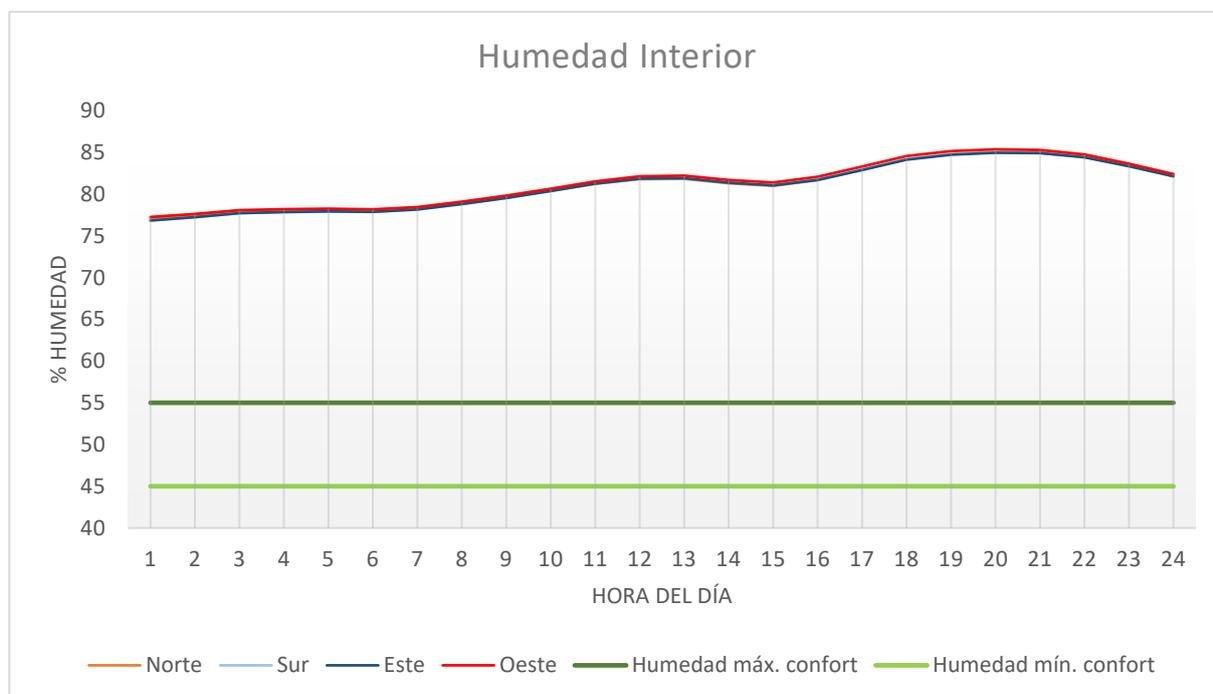


Figura 5.37. Gráfica de la oscilación de la Humedad interior de la celda de ensayo con la envolvente del prototipo del equipo Your+ orientada en cada una de las orientaciones.

De la misma manera que ocurría con los análisis de las envolventes anteriores ocurre con el análisis de esta envolvente (Figura 5.37), existiendo similitud en los valores y en el comportamiento de la envolvente frente a la humedad interior. Dada esta similitud como se ha explicado en el análisis del cerramiento anterior, se obviará repetir dicho análisis asociándolo al análisis de los cerramientos anteriores y teniendo en cuenta que la solución para reducir la humedad hasta que se encuentre en la banda de humedad de confort podría ser la misma en cualquiera de las envolventes.

## 6. Propuesta.

A partir del análisis previo realizado con las soluciones presentadas a la edición de Solar Decathlon Europa de 2014, se propone la siguiente envolvente vertical pasiva (Figura 6.1) en función de las temperaturas que se estiman el 29 de Junio de 2019, día en el que se realizará la prueba de Condiciones de Confort y con el que se ha estado trabajando en los diferentes análisis durante todo el desarrollo del Trabajo Fin de Grado.

La envolvente propuesta consta de cinco capas (Figura 6.2) con un espesor total de 15,50 cm. La capa más externa la compone un tablero OSB de 0.20 cm de espesor que sirve de protección para la segunda capa. Esta segunda capa, es la capa principal mencionada anteriormente y se trata de un aislamiento térmico de lana de roca, elegido por sus buenas propiedades de resistencia térmica y por su fácil manipulación y colocación. La tercera capa es idéntica a la capa exterior y al igual que se mencionó anteriormente ésta también sirve como protección para el aislamiento térmico. Por último, la capa más interna está formada por fibra de yeso de 0,15 cm de espesor, a partir de la cual podemos tener cierta flexibilidad para proponer el diseño interior del prototipo.

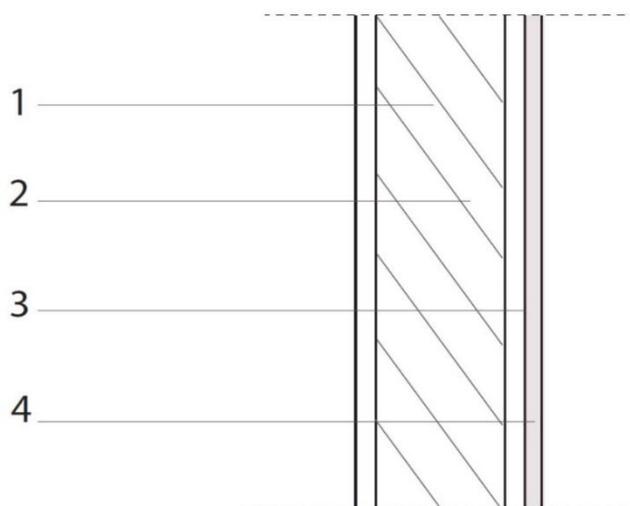


Figura 6.1. Sección constructiva de la envolvente propuesta.

Nº	Capas (Exterior-Inerior)	Espesor (mm)	$\lambda$ (W/mK)	Resist. Térmica ( $m^2K/W$ )	Trans. Térmica (W/m <sup>2</sup> K)
	Resistencia térmica superficial (Rse)	/	/	0.04	<b>0.30</b>
1	Tablero OSB	20.00	0.130	0.15	
2	Aislamiento térmico de lana de roca	100.00	0.035	2.86	
3	Tablero OSB	20.00	0.130	0.15	
4	Fibra de yeso	15.00	0.320	0.05	
	Resistencia térmica superficial (Rsi)	/	/	0.13	
<b>TOTAL</b>		<b>155.00</b>	<b>/</b>	<b>3.38</b>	

Figura 6.2. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente propuesta.

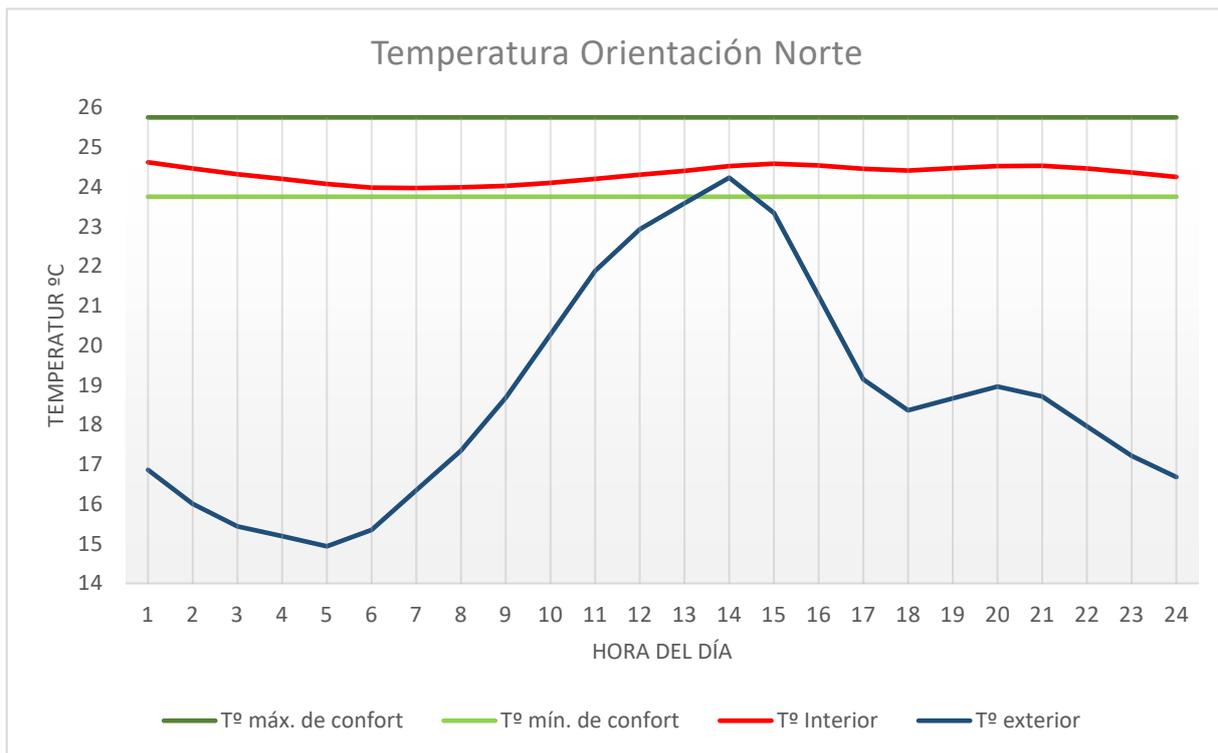


Figura 6.3. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente propuesta orientada a Norte.

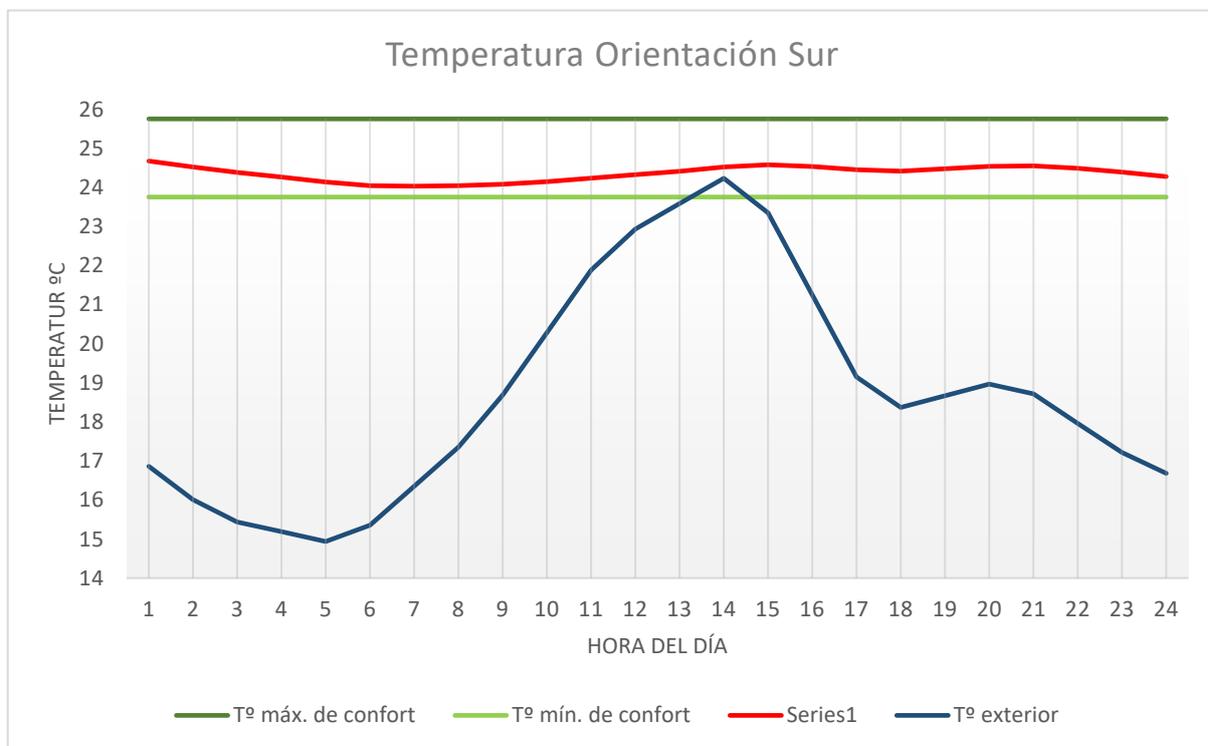


Figura 6.5. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente propuesta orientada a Sur.

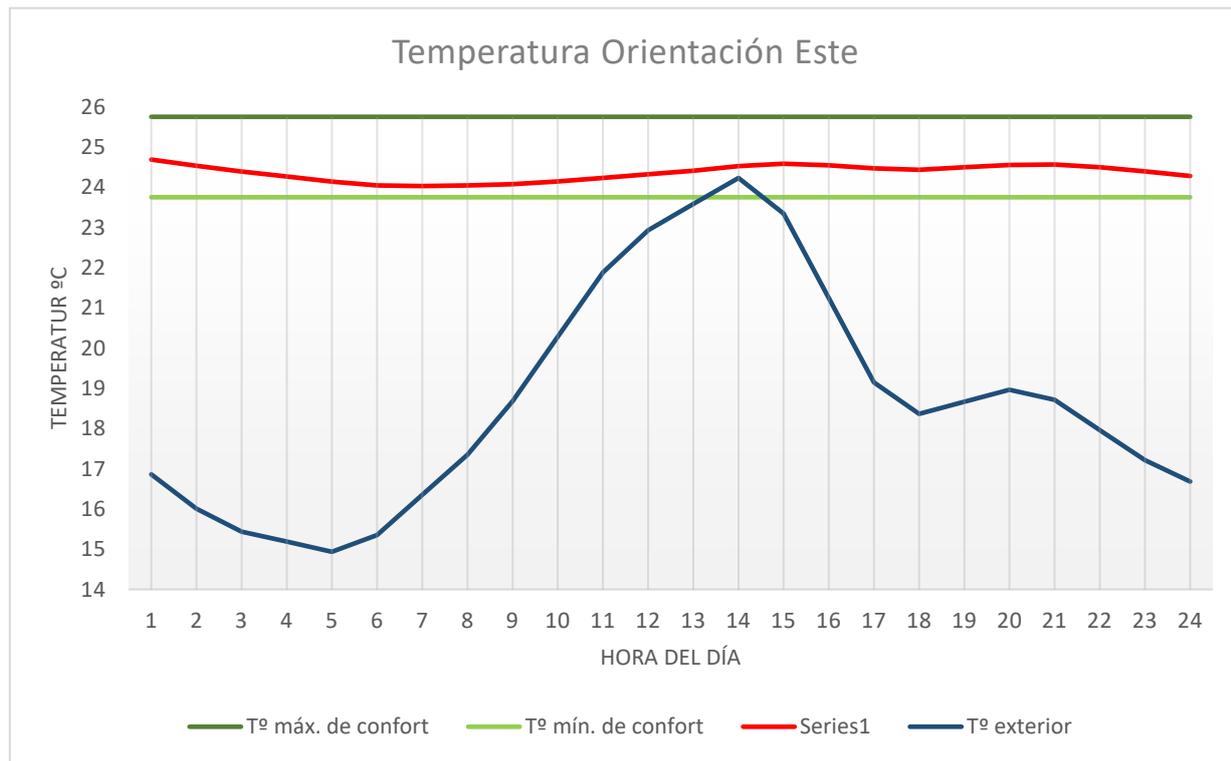


Figura 6.4. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente propuesta orientada a Este.

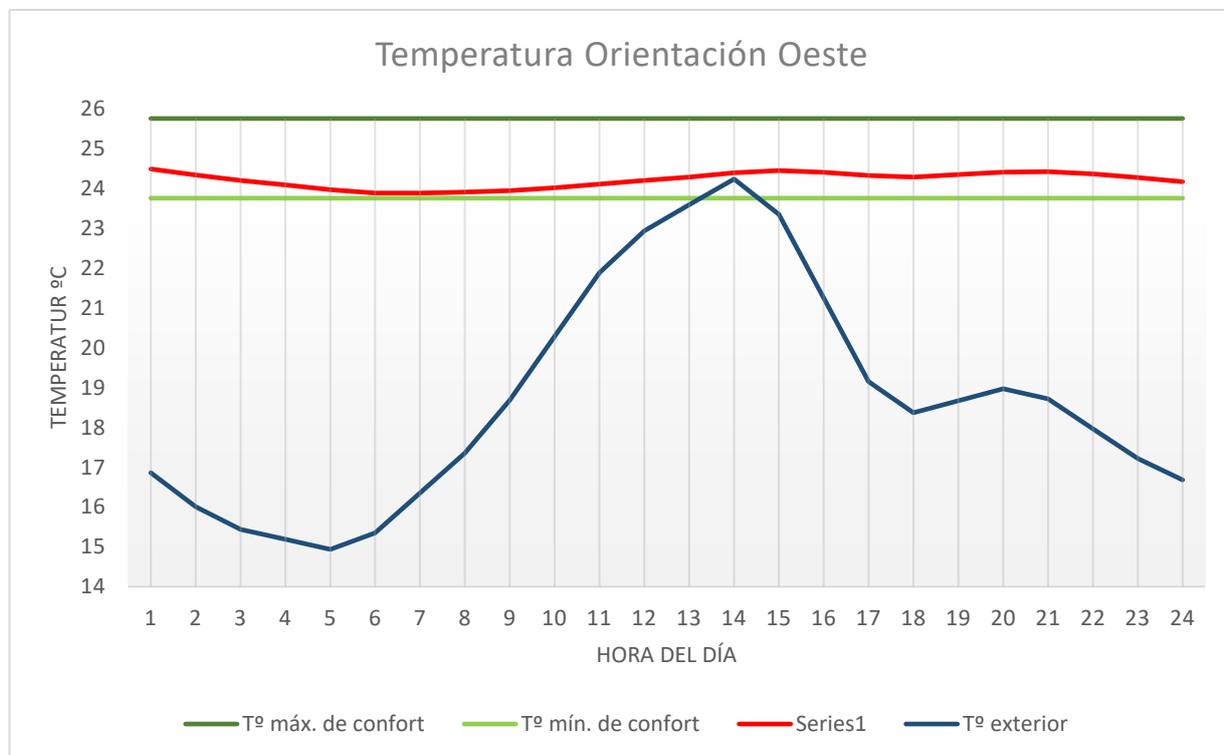


Figura 6.6. Gráfica de la oscilación de la temperatura interior (línea roja) de la celda de ensayo con la envolvente propuesta orientada a Oeste.

Para valorar más detalladamente el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, se representan en la siguiente gráfica la variación de temperatura interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones. De esta manera, se aprecian mejor las pequeñas diferencias de temperatura interior en función de la orientación del cerramiento.

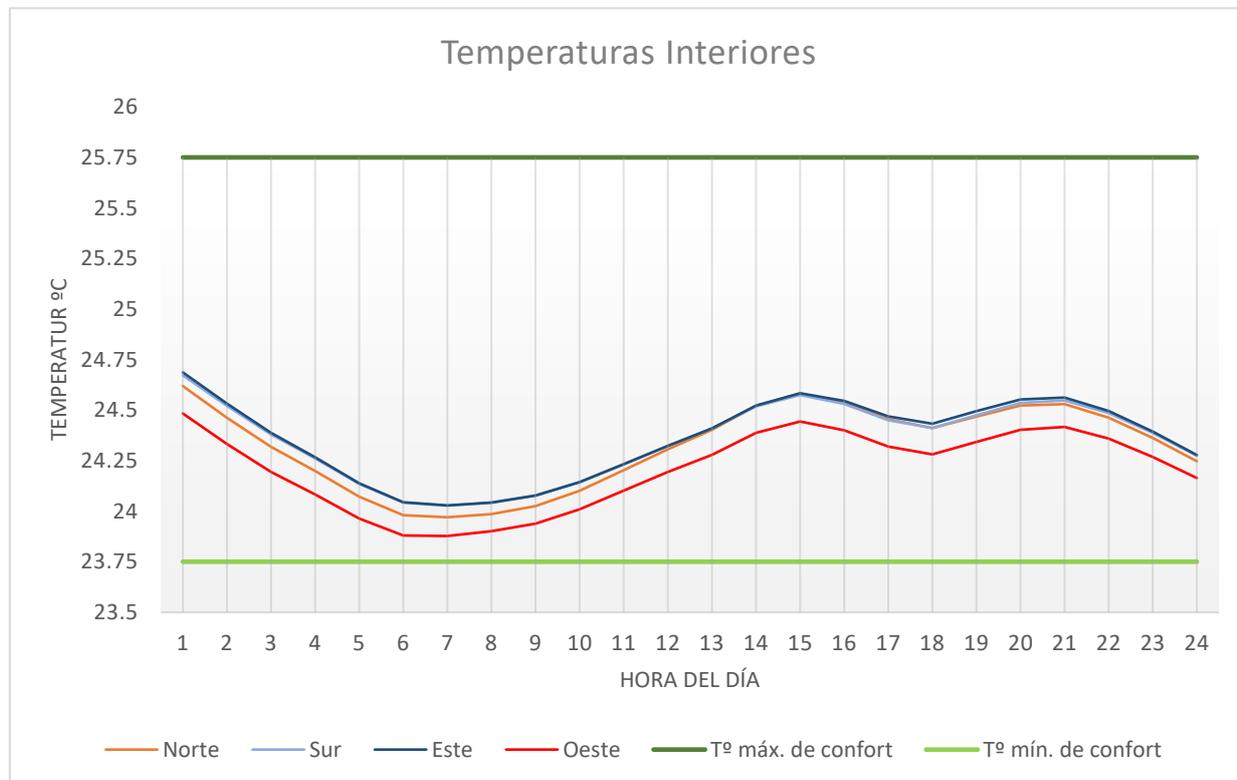


Figura 6.7. Gráfica de la oscilación de las temperaturas interiores de la celda de ensayo con la envolvente propuesta orientada en cada una de las orientaciones.

Como podemos observar en las gráficas anteriores (Figuras 6.3, 6.4, 6.5 y 6.6) el comportamiento de la envolvente en cada una de las orientaciones es bastante similar. Sin embargo, a diferencia de los análisis realizados previamente a la propuesta, con esta envolvente se consigue mantener la temperatura interior dentro de la banda de confort durante todo el día. Esto es gracias a la diferencia de la transmitancia entre las envolventes analizadas y la envolvente propuesta, la cual se ha llevado hasta una transmitancia prácticamente tres veces más elevada.

Observando la gráfica (Figura 6.7) vemos el comportamiento similar del cerramiento en las orientaciones este y sur, pero existe una pequeña diferencia cuando este se coloca en la orientación norte y una bastante mayor cuando está orientado a oeste. La diferencia en las primeras horas del día cuando el cerramiento está orientado a norte se debe a la poca incidencia solar directa sobre el mismo, lo cual hace que su temperatura al final del día sea inferior y exista una menor transferencia de calor al interior cuando la temperatura exterior está bajando.

Por otro lado, existe una mayor diferencia cuando el cerramiento está orientado a oeste, pues la temperatura interior que mantiene durante el día es inferior a la que mantiene en el resto de las orientaciones, aunque esta se sigue manteniendo dentro de la banda de confort. Esta diferencia se debe a la poca incidencia solar directa que recibe la envolvente durante el día cuando está orientada a oeste. La mayor incidencia solar directa la recibe en las últimas horas del día, en las cuales se observa en la gráfica (Figura 6.7) que se empieza a reducir la diferencia de temperatura con el resto de las orientaciones, ya que en la orientación oeste ésta aumenta por la incidencia solar.

Para valorar el comportamiento de la envolvente en las diferentes orientaciones estudiadas, se representa en la siguiente gráfica la variación de humedad interior de la celda a lo largo del día para cada una de las orientaciones de este cerramiento, además del rango de humedad mínima y humedad máxima de confort establecidas por las bases del concurso.

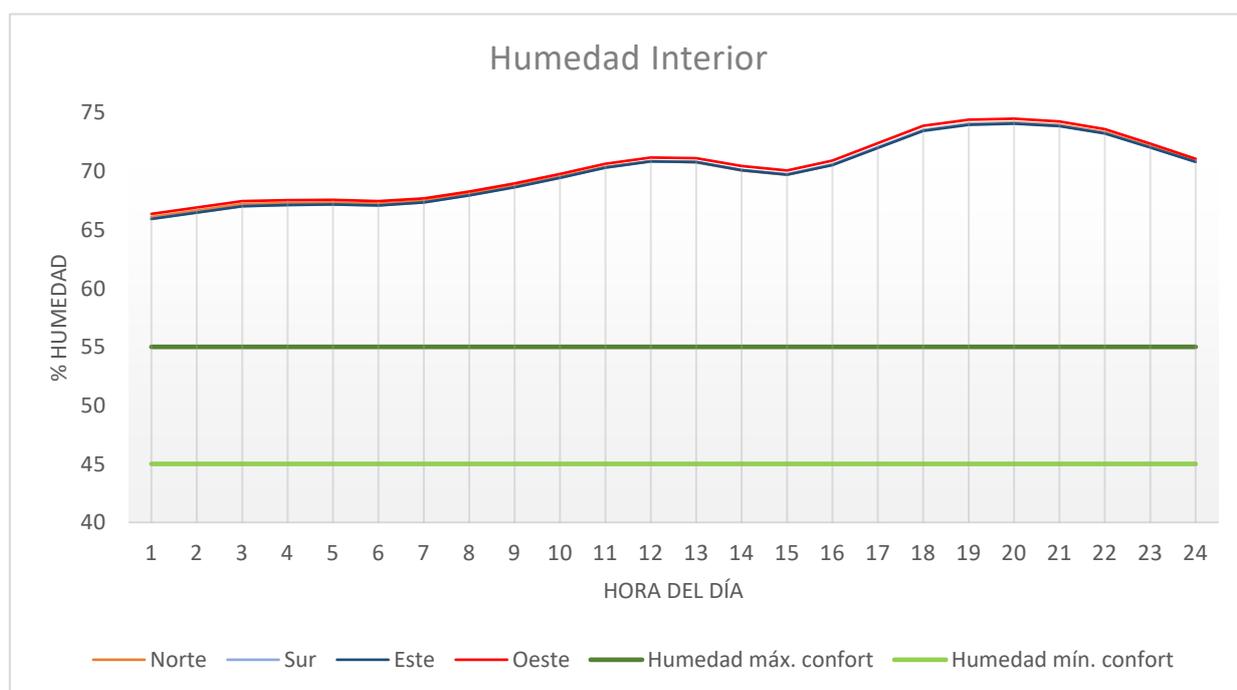


Figura 6.8. Gráfica de la oscilación de la Humedad interior de la celda de ensayo con la envolvente propuesta orientada en cada una de las orientaciones.

En la gráfica (6.8) vemos el comportamiento de la humedad en cada una de las orientaciones y comprobamos que apenas hay diferencia en el porcentaje de humedad que se mantiene en el interior a lo largo del día en cada de ellas. A diferencia del análisis de los cerramientos tomados como base, en los que se estableció una tasa de ventilación de 0.4 renovaciones por hora en el software DesignBuilder, se observa que tras aumentar esta hasta una tasa de ventilación de 0.8 renovaciones por hora, se mejoran las

condiciones de humedad en el interior de la celda. Los prototipos tomados como bases mantenían entre el 70% y el 85% de humedad a lo largo del día, mientras que ahora conseguimos reducirlo a un intervalo entre el 65% y el 75%. Sin embargo, está no es la solución óptima, ya que por mucho caudal de aire exterior que utilicemos para la tasa de ventilación de la celda de ensayo, llegamos al punto en el que la humedad interior llega a su límite y no se reduce más su porcentaje. Esto se debe a las características del aire exterior, teniendo en cuenta que los meses de mayo, junio y julio son los meses con mayores precipitaciones en la ciudad de Szentendre, la humedad relativa exterior oscila entre el 60% y el 65% de media durante estos meses. Por lo tanto, durante este periodo, a través de la envolvente vertical y de forma pasiva no podemos asegurar un porcentaje de humedad interior dentro de la banda de humedad de confort establecida por la organización. Sin embargo, conseguir que la oscilación del porcentaje de humedad interior sea mínima, es algo positivo, ya que así podemos controlar la humedad interior mediante un sistema de climatización con deshumectación de manera más sencilla.

## 7. Conclusiones.

Tras un estudio y análisis de los diferentes prototipos que obtuvieron las mayores puntuaciones en la prueba de Condiciones de Confort, en la edición de Solar Decathlon Europa de 2014 son varias las conclusiones de estrategias de soluciones de envolventes verticales pasivas que podemos obtener tras el desarrollo de este Trabajo Fin de Grado para su aplicación al concurso Solar Decathlon Europa 2019 que se celebrará en Szentendre, Hungría.

Todas esas estrategias han sido claves a la hora de desarrollar la propuesta de envolvente vertical pasiva, tras establecerse como objetivo principal la búsqueda de dichas estrategias tras el análisis. Después de estudiar detalladamente cada una de las envolventes y analizarlas con la ayuda del modelo de simulación de la celda de ensayo mediante el programa DesignBuilder, se opta por una propuesta combinada, eligiendo de cada una de las propuestas las capas que mejor cumplían su función.

Una de las estrategias que se plantean, es la búsqueda de una envolvente ligera, fácil de construir y por lo tanto con el menor espesor posible. Se llega a esta conclusión tras comprobar que el número de capas de la envolvente no era una característica clave para su comportamiento frente a la temperatura exterior para poder mantener la temperatura interior de confort adecuada, por lo que se ha propuesto un cerramiento con el menor número de capas posibles.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el análisis se ha realizado en un modelo 3D donde la superficie del cerramiento a estudiar expuesta al exterior es bastante reducida, por lo que la influencia en la temperatura interior es mínima. Sin embargo, esto no sucedería en una vivienda real, la cual tiene mucha más superficie de envolvente expuesta al exterior y donde el factor forma arquitectónica también tiene su influencia. Además, la existencia de huecos en la envolvente hace que la temperatura exterior afecte mucho más a la temperatura interior a través de ellos que por la propia envolvente. Debido a todo esto, se busca una envolvente flexible que permita solucionar estos problemas en función de la superficie de envolvente que esté expuesta al exterior y de la superficie de huecos que contenga la misma. Para ello, se propone utilizar un material con poca conductividad térmica capaz de regular a través del cerramiento la influencia de la temperatura exterior a través de los huecos afectando a la temperatura interior. Este material, será el material más importante de la envolvente y con el que jugando con su espesor se consigan las condiciones de confort deseadas para el interior del prototipo.

Otra de las estrategias se basa en proponer una envolvente que no tenga una transmitancia demasiado baja, que apenas exista transferencia de calor entre el ambiente exterior e interior. Los cerramientos con bajos valores de transmitancia provocan que la temperatura interior esté por debajo de la banda de confort. Un cerramiento con un valor de transmitancia en el rango de  $0.3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , permite una mayor transferencia de calor entre el exterior y el interior y una adecuación de la temperatura operativa interior a los rangos de confort establecidos.

Dados los porcentajes de humedad relativa interior de Szentendre no se pueden garantizar unas condiciones de humedad relativa interior dentro de la banda de confort. Como consecuencia de ello, para reducir el porcentaje de humedad interior habrá que recurrir a un equipo de climatización con deshumectación.

## 8. Ideas para ampliar el trabajo desarrollado.

Tras haber alcanzado el objetivo principal de proponer una envolvente a partir de estrategias de soluciones de envolventes pasivas y los diferentes objetivos secundarios propuestos, se enuncian a continuación una serie de ideas que podrían llevarse a cabo en futuros trabajos a partir del desarrollo de este Trabajo Fin de Grado:

-Calcular en función de los m<sup>2</sup> de huecos que tengamos en la envolvente, el espesor del material principal necesario para compensar la transmitancia de la ventana con el resto del cerramiento opaco. Dicho material principal se trata del aislamiento térmico de lana de roca como se explicó anteriormente en el apartado 6. Conclusiones y propuesta.

-Analizar otros parámetros en el interior de la celda de ensayo como por ejemplo los niveles de iluminación en el caso de tener huecos en la envolvente, la concentración de CO<sub>2</sub>, etc. Mediante el software informático DesignBuilder utilizado en este Trabajo Fin de Grado u otros similares.

-Calcular como afectaría la colocación de una capa que sirva como protección solar de la capa más externa de la envolvente propuesta mediante la posibilidad de construir una cámara de aire ventilada entre ambas.

## 9. Bibliografía.

### 1.Documentos pdf.

- Departamento de Energía de Estados Unidos. "Project Profiles." Solar Decathlon Europe 2014. From 28/06 to 14/07.
- Departamento de Energía de Estados Unidos. "Solar Decathlon Europe 19 HUNGARY." Sde19 rules versión 1.0 14\_07\_2017.
- Departamento de Energía de Estados Unidos. "Solar Versailles, Visit la Cité du Soleil." Solar Decathlon Europe 2014.
- Ordoñez García, Arturo. "Manual de ayuda DesignBuilder en español." Versión del programa: 4 / Versión del manual 2014.12.03.
- Team DTU, Embrace. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Copenhagen, Denmark.
- Team Fénix, Casa Fénix. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Valparaiso & La Rochelle, Chile & France.
- Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Nantes, France.
- Team Prêt-à-Loger, Home with a skin. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Delft, Netherlands.
- Team Ontop, Ontop. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Frankfurt, Germany.
- Team Réciprocité, Maison Reciprocity. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of boone & Angers, USA & France.
- Team Ressò, Ressò. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Barcelone, Spain.
- Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Berlin, Germany.
- Team Rome, Rhome for denCity. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. Università degli studi di Roma Tre.
- Team Your+, Lucerne - Suisse. "Project drawings – deliverable #7". Solar Decathlon Europe 2014. 03 November 2014. University of Lucerne, Switzerland.

## 2. Páginas web.

- CLIMATE-DATA.ORG

<https://es.climate-data.org/location/14533/>

- Design and Performance of Test Cells as an Energy Evaluation Model of Facades in a Mediterranean Building Area.

<http://www.mdpi.com/1996-1073/10/11/1816/htm>

- El clima promedio en Szentendre, Hungría.

<https://es.weatherspark.com/y/84485/Clima-promedio-en-Szentendre-Hungr%C3%ADa-durante-todo-el-a%C3%B1o>

- Previsión meteorológica y clima mensual de Budapest, Hungría.

<https://www.weather-atlas.com/es/hungria/budapest-clima>

- Solar Decathlon Europe.

<http://solardecathlon.eu/>

- Solar Decathlon Europe 2014. Solar Versailles.

<http://www.solardecathlon2014.fr/en/documentation>

- Solar Decathlon Europe 2019. Szentendre.

<http://www.sde2019.hu/>

- U.S. Departamento f Energy. Solar Decathlon.

<https://www.solardecathlon.gov/international-europe.html>

## 3. Normativa.

- Código Técnico de la Edificación. “Documento Básico HS: Salubridad. Documento con comentarios del Ministerio de Fomento (versión 29 junio 2018)

- Código Técnico de la Edificación. “Documento Básico HE: Ahorro de Energía. Documento con comentarios del Ministerio de Fomento (versión 23 diciembre 2016)

- Una Norma Española. “UNE-EN ISO 7726:2002”. [www.aenor.es](http://www.aenor.es).

## 4. Índice de figuras.

Figura 4.1. Logotipo del departamento de Energía de Estados Unidos que organiza la competición. Fuente: <https://www.solardecathlon.gov/international-europe.html>

Figura 4.2. Gráfica de puntuaciones para la prueba de Temperatura. Elaboración propia a partir de la gráfica aportada por la organización del concurso en el documento “Solar Decathlon Europe 19 HUNGARY.” Sde19 rules versión 1.0 14\_07\_2017 citado anteriormente.

Figura 4.3. Gráfica de puntuaciones para la prueba de Humedad. Elaboración propia a partir de la gráfica aportada por la organización del concurso en el documento “Solar Decathlon Europe 19 HUNGARY.” Sde19 rules versión 1.0 14\_07\_2017 citado anteriormente.

Figura 4.4. Volumetría del prototipo del equipo de Roma. Fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.5. Planta de usos del prototipo del equipo de Roma. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.6. Alzados del prototipo del equipo de Roma. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.7. Secciones del prototipo del equipo de Roma. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.8. Secciones constructivas de la envolvente del prototipo del equipo de Roma. Fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.9. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo de Roma. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.10. Volumetría del prototipo del equipo de Philèas. Fuente: Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.11. Plantas de usos del prototipo del equipo Philèas (Planta con distribución diurna y planta con distribución nocturna). Fuente: Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.12. Alzados del prototipo del equipo Philèas. Fuente: Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.13. Secciones del prototipo del equipo Philèas. Fuente: Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.14. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Philèas. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.15. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Philèas. Elaboración propia a partir de la fuente Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.16. Volumetría del prototipo del equipo Rooftop. Fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.17. Plantas de usos del prototipo del equipo Rooftop. Fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.18. Alzados del prototipo del equipo Rooftop. Fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.19. Secciones del prototipo del equipo Rooftop. Fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.20. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Rooftop. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.21. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Rooftop. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.22. Imagen del prototipo del equipo Your+. Fuente: Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.23. Plantas de usos del prototipo del equipo Your+. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.24. Alzados del prototipo del equipo Your+. Fuente: Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.25. Secciones del prototipo del equipo Your+. Fuente Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.26. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Your+. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 4.27. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Your+. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 5.1. Temperaturas máximas y mínimas medias en Szentendre durante el año. Fuente:<https://es.weatherspark.com/y/84685/Clima-promedio-en-Szentendre-Hungr%C3%ADa-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Figura 5.2. Probabilidad diaria de precipitación en Szentendre durante el año. Fuente:<https://es.weatherspark.com/y/84685/Clima-promedio-en-SzentendreHungr%C3%ADa-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Figura 5.3. Horas de luz natural en Szentendre durante el año. Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/84685/Clima-promedio-en-Szentendre-Hungr%C3%ADa-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Figura 5.4. Niveles de humedad en % de Szentendre durante el año. Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/84685/Clima-promedio-en-Szentendre-Hungr%C3%ADa-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Figura 5.5. Imagen del modelo 3D de simulación (Celda de ensayo). Captura de pantalla obtenida del software informático DesignBuilder.

Figura 5.6. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo de Roma. Fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 5.7. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo de Roma. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Resso, Resso. "Project drawings – deliverable #7".

Figuras 5.8... 5.13. Gráficas de los análisis de temperatura y humedad de la envolvente del equipo de Roma. Elaboración propia a partir de los datos exportados del software informático DesingBuilder y posterior elaboración de las gráficas en Excel.

Figura 5.14. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Philèas. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 5.15. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Philèas. Elaboración propia a partir de la fuente Team Philèas, Atlantic Challenge. "Project drawings – deliverable #7".

Figuras 5.16... 5.21. Gráficas de los análisis de temperatura y humedad de la envolvente del equipo Philèas. Elaboración propia a partir de los datos exportados del software informático DesingBuilder y posterior elaboración de las gráficas en Excel.

Figura 5.22. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Rooftop. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 5.23. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Rooftop. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Rooftop, Rooftop. "Project drawings – deliverable #7".

Figuras 5.24... 5.29. Gráficas de los análisis de temperatura y humedad de la envolvente del equipo Rooftop. Elaboración propia a partir de los datos exportados del software informático DesingBuilder y posterior elaboración de las gráficas en Excel.

Figura 5.30. Sección constructiva de la envolvente del prototipo del equipo Your+. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figura 5.31. Tabla de propiedades de las capas de la envolvente del prototipo del equipo Your+. Elaboración propia a partir de la fuente: Team Your+, Lucerne – Suisse. "Project drawings – deliverable #7".

Figuras 5.32... 5.37. Gráficas de los análisis de temperatura y humedad de la envolvente del equipo Your+. Elaboración propia a partir de los datos exportados del software informático DesingBuilder y posterior elaboración de las gráficas en Excel.