

# Proyecto Fin de Carrera

## Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

### Soluciones especiales de cubierta: modelización y evaluación energéticas

Autora: María Castro Rodríguez

Tutora: María Del Carmen Guerrero Delgado

**Dpto. Ingeniería Energética**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2023





Proyecto Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

# **Soluciones especiales de cubierta: modelización y evaluación energéticas**

Autora:

María Castro Rodríguez

Tutora:

María del Carmen Guerrero Delgado

Dpto. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2023



Proyecto Fin de Grado: Soluciones especiales de cubierta: modelización y evaluación energéticas

Autora: María Castro Rodríguez

Tutora: María del Carmen Guerrero Delgado

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis maestros*



# Agradecimientos

---

Este trabajo ha sido posible gracias a las profesoras del departamento de ingeniería energética de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, María del Carmen Guerrero Delgado y Teresa Rocío Palomo Amores.

*María Castro Rodríguez*

*Sevilla, 2023*



El creciente consumo energético y su negativo efecto en el medio ambiente es algo que preocupa a nivel internacional. Para poder alcanzar los objetivos donde los edificios son de emisión cero y de lucha contra el cambio climático, es necesario la implementación y desarrollo de técnicas pasivas para mejorar la eficiencia energética en edificios. En este trabajo estudiaré algunas de esas técnicas y analizaremos cuánto podrían disminuir la carga de refrigeración con su implantación, viendo su repercusión en los diferentes climas de Andalucía para diferentes tipos de edificios residenciales. El trabajo se centra en las técnicas denominadas como revestimiento reflectante, techos verdes y roof ponds. De estas soluciones se ha obtenido el porcentaje de reducción de la demanda de refrigeración tras la implantación en dos tipos de edificios utilizando para ello un programa denominado HULC. Todo con el objetivo de mostrar lo que podría aportar a la sociedad apostar por técnicas de mejora energética, destacando que algunas de ellas conllevan unos beneficios adicionales muy interesantes además de reducir la demanda.



# Abstract

---

The rise in energy consumption and its negative effect on the environment have become a matter of international concern. To build zero-emission buildings and fight against climate change, it is necessary to implement and develop passive techniques to improve energy efficiency in buildings. In this dissertation, I will study these techniques and analyze how much they could decrease the cooling load of different types of residential buildings in different climate areas of Andalucía. This dissertation focuses on the techniques called reflective coating, green roofs and roof ponds. From these solutions, the percentage reduction in cooling demand after implementation in two types of buildings has been obtained using a program called LIDER-CALENER (HULC). The aim of this project is to show what these techniques could provide to society and to foster the use of energy improvement techniques, as well as highlighting that some of them deliver some very interesting additional benefits besides from reducing demand.

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xiv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvi</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xviii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Contexto	1
<b>2 Revisión del estado del arte</b>	<b>3</b>
2.1.3 “Roof pond”	7
2.1.4 Cubierta ventilada con evaporativo	9
2.2 Estudios teóricos o experimentales	10
2.2.1 Revestimiento reflectante	10
2.2.2 Techo verde	11
2.2.3 Roof ponds	11
2.2.4 Cubierta ventilada con evaporativo	12
2.2.5 Resumen de los estudios	12
<b>3 Metodología</b>	<b>14</b>
3.1 Descripción general	14
3.2 Cálculo de temperatura de excitación	15
3.2.1 Revestimiento reflectante	15
3.2.2 Techo verde	15
3.2.3 Roof ponds	16
3.3 Modelización con capacidad adicional	17
<b>4 Definición de tipologías de edificios</b>	<b>19</b>
<b>5 Definición de climas (Andalucía)</b>	<b>20</b>
<b>6 Resultados y discusión</b>	<b>27</b>
6.1 Resultados de la temperatura de excitación modificada	27
6.1.1 Zona climática B4	27
6.1.2 Zona climática A3	29
6.1.3 Valores numéricos	31
6.2 Resultados de la simulación	34
6.2.1 Vivienda aislada sur, B4	34
6.2.2 Vivienda pareada este, A3	34
6.2.3 Vivienda entremedianeras sur, A3	35
6.3 Coste de la implantación de las soluciones	36
6.3.1 Pintura reflectante	36

6.3.2	Techos verdes	36
6.3.3	Roof ponds	37
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>38</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>39</b>
	<b>ANEXO</b>	<b>44</b>
•	<i>ANEXO A</i>	44
•	<i>ANEXO B</i>	69

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 2-1. Clasificación de techos verdes. [28]	5
Tabla 2-2. Selección de la vegetación. [29]	6
Tabla 2-3: Propiedades físicas del recubrimiento utilizado según la ficha técnica del fabricante. [37]	10
Tabla 2-4. Reducción de la demanda con cubierta activa [35]	12
Tabla 2-5. Aplicación de las diferentes técnicas	13
Tabla 3-1. Valores de la reflectancia en algunos colores y materiales [44]	15
Tabla 3-2: Valores límite de transmitancia térmica, $U_{\text{mín}}$ [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]. [48]	18
Tabla 5-1. Datos del verano 2021. Andalucía	21
Tabla 5-2. Variación de la temperatura día/noche en junio de 2021	22
Tabla 6-1. Valores de temperatura tras la implantación de los diferentes casos	32
Tabla 6-2. Reducción en la demanda anual de refrigeración	34
Tabla 6-3. Reducción en la demanda anual de refrigeración	35
Tabla 6-4. Precios de pintura por $\text{m}^2$ de superficie	36
Tabla 6-5. Coste de la implantación de pintura reflectante en las viviendas simuladas.	36
Tabla 6-6. Coste de la implantación del techo verde en las viviendas simuladas	37
Tabla 6-7. Coste de la implantación del roof pond en las viviendas simuladas	37
Tabla 0-1. Reducción anual máxima en el coste de la energía para una vivienda de la zona B4.	69
Tabla 0-2. Reducción anual mínima en el coste de la energía para una vivienda de la zona B4.	69



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2-1. Funcionamiento del techo frío [22]	3
Figura 2-2. Capas de un techo verde. [27]	4
Figura 2-3. Tejado verde en Sao Paulo, Brasil. [30]	7
Figura 2-4. Techo con aislamiento móvil [31]	8
Figura 2-5. Modos de la cubierta ventilada. [35]	9
Figura 2-6. Cubierta en escuela primaria en Gando, Burkina Faso, de Francis Kéré. [36]	10
Figura 3-1. Esquema de metodología	14
Figura 4-1. Viviendas seleccionadas.	19
Figura 5-1. Mapa de climas en España [49]	20
Figura 5-2. Mapa de climas en Andalucía [49]	21
Figura 5-3. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Cádiz	22
Figura 5-4. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Málaga	23
Figura 5-5. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Almería	23
Figura 5-6. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Sevilla	24
Figura 5-7. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Córdoba	24
Figura 5-8. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Huelva	25
Figura 5-9. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Granada	25
Figura 5-10. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Jaén	26
Figura 6-1. Evolución anual de las temperaturas de excitación en el revestimiento reflectante (B4)	27
Figura 6-2. Evolución diaria de la radiación solar en tres días de verano (B4)	27
Figura 6-3. Evolución anual de la temperatura de excitación en diferentes horas de riego para techo verde (B4)	28
Figura 6-4. Evolución anual de la temperatura de excitación para el roof pond (B4)	28
Figura 6-5. Evolución anual de la temperatura de excitación en la zona climática B4	29
Figura 6-6. Evolución anual de las temperaturas de excitación en el revestimiento reflectante (A3)	29
Figura 6-7. Evolución anual de la temperatura de excitación en diferentes horas de riego para techo verde (A3)	30
Figura 6-8. Evolución anual de la temperatura de excitación para el roof pond (A3)	30
Figura 6-9. Evolución anual de la temperatura de excitación en la zona climática A3	31
Figura 6-10. Evolución anual de la demanda de refrigeración	34
Figura 6-11. Evolución anual de la demanda de refrigeración	35
Figura 6-12. Evolución anual de la demanda de refrigeración	35





# 1 INTRODUCCIÓN

---

## 1.1 Contexto

Actualmente la sociedad necesita un alto consumo energético para crear una situación de confort y poder mantener su nivel de vida. En 2021 aumentó en un 6% la demanda global de energía, la mayor desde 2010. [1] Se estima que aproximadamente el 30% del consumo de energía final en España se produce en los edificios [2] y a nivel europeo representan cerca del 40%, siendo así el mayor consumidor de energía de Europa. [3] El aumento de la población, de la demanda de alojamiento y el uso de sistemas de climatización ineficientes son algunos de los motivos que hace que este consumo aumente cada año.

Es importante destacar que mejorar la eficiencia energética contribuye al aseguramiento del suministro y a la viabilidad económica. Además, el alto consumo de energía nos lleva a la degradación del medio ambiente, contribuyendo al calentamiento global. Un agravante de las consecuencias del cambio climático en las ciudades grandes es el efecto isla de calor urbano. Es un fenómeno de acumulación de calor dentro de la zona urbana como consecuencia de las actividades humanas y el urbanismo. Influye en el clima urbano y en la salud de la población y, en lo que respecta al aumento de temperatura, se produce durante la noche cuando pueden darse diferencias de temperaturas muy elevadas entre la parte central más urbanizada y las zonas rurales o suburbanas del extrarradio donde las temperaturas son inferiores. [4]

Una de las causas que lo provoca son los edificios poco sostenibles. Dentro de las soluciones para minimizar su impacto está la arquitectura bioclimática, la cual se define como un conjunto de elementos arquitectónicos y constructivos que puedan transformar las condiciones para conseguir valores que lo acerquen al bienestar del ser humano. Uno de sus puntos clave es la eficiencia energética en los edificios, para ello utiliza preferentemente sistemas pasivos. [5] [6] Otras técnicas existentes utilizadas para mitigar la isla de calor implican el aumento del uso de zonas verdes y de materiales altamente reflectantes para los espacios exteriores.

En Europa los edificios generan el 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero. [7] Además, el 75% de los edificios de la UE son ineficientes desde el punto de vista energético y solo se renueva el 1 % cada año (0,08% en España). [8] Esto ha hecho que, en las directivas europeas, la reglamentación sea cada vez más estricta persiguiendo edificios sostenibles y eficientes energéticamente, además de fomentar la rehabilitación de viviendas.

En 2020, la Comisión Europea puso en marcha la iniciativa Ola de renovación [9], donde el Comité Europeo de las Regiones y la Comisión Europea acordaron impulsar la renovación del parque inmobiliario de la UE. El objetivo era duplicar como mínimo la tasa anual de renovación energética de los edificios de aquí a 2030. Esta renovación es una de las prioridades del Pacto Verde Europeo junto con la descarbonización del sector del transporte y la ecologización de las ciudades. El Pacto Verde es una estrategia de la UE destinada a alcanzar la neutralidad climática en 2050. En 2021, se presentó una revisión de la directiva sobre el rendimiento energético de los edificios, [10] que traduce la estrategia de la Ola de Renovación en una acción legislativa concreta. En él establecen nuevos estándares mínimos de rendimiento para la calificación del certificado energético a partir de 2030. Además, propone que los nuevos edificios a partir de ese año deberán ser de emisión cero y los edificios públicos deben serlo desde 2027. A su vez, también facilita la rehabilitación de viviendas y otros edificios en Europa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, las facturas de energía y acercarse a su objetivo ya mencionado: aumentar la tasa de rehabilitación energética en la UE. [7] Existen muchas posibilidades para llevar a cabo esta renovación de la edificación, desde la rehabilitación convencional hasta la adaptación de medidas especiales, necesarias a veces para lograr los objetivos requeridos.

Los fondos europeos asignados a España tienen un papel muy importante en la rehabilitación energética del parque inmobiliario español, actualmente entre los más envejecidos y obsoletos de Europa en cuanto a eficiencia. [11] El 90% de las viviendas fueron construidas antes del Código Técnico de Edificación y el 60% antes de que existiera ninguna normativa de eficiencia energética. [12]

Algunos de los más afectados por esto son las personas que viven en una situación de pobreza energética, es decir, con un nivel de ingresos insuficiente para cubrir las necesidades básicas de energía y agravada por habitar

en viviendas con una alta ineficiencia energética. Esta situación social, agravada en el sur de España debido a los sobrecalentamientos en verano, pueden provocar problemas de salud y un aumento de la carga energética necesaria para alcanzar confort térmico debido a sus malas condiciones ambientales interiores.

Esto ha impulsado proyectos de rehabilitación de viviendas utilizando diversas estrategias pasivas de mejora y obteniendo buenos resultados. [13] [14] También se pueden tener beneficios muy importantes para la población que se encuentra en esta situación a través de la mejora del microclima urbano y la disminución de las temperaturas durante el verano.

El problema de la pobreza energética cada vez está más presente en la conciencia pública tanto en España como en la Unión Europea y en el ámbito global. El Gobierno aprobó en 2019 una estrategia nacional contra la pobreza energética [15] elaborada por el Ministerio para la Transición Ecológica. Por primera vez se establecía una definición de la situación de pobreza energética y del consumidor vulnerable, se analizó el alcance del problema en España y establecieron medidas para reducir sus consecuencias. Entre esas medidas está la rehabilitación de viviendas distinguiendo a corto y largo plazo. A corto plazo se actuaría con rehabilitaciones exprés usando medidas de bajo coste y rápida ejecución, mientras que a largo plazo se busca hacer una rehabilitación integral de edificios.

Internacionalmente, en la estrategia Ola de renovación ya mencionada anteriormente, también se establecían medidas para disminuir la pobreza energética. En 2015 la ONU aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible. [16] Cuenta con 17 objetivos entre los que se encuentra garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. Es de destacar, que entre sus metas estaba duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. [17]

En los últimos años podemos encontrar muchas medidas para intentar cambiar el rumbo que estábamos tomando y así poder alcanzar la sostenibilidad energética y medioambiental. La política y la financiación europeas ya han tenido un impacto positivo en la eficiencia energética de los edificios nuevos, que ahora solo consumen la mitad de energía que los edificios construidos hace 20 años. [18]

Podemos decir entonces que mejorar la eficiencia energética de nuestros edificios hará que reduzcamos las emisiones, disminuyan las personas en situación de pobreza energética y los consumidores ahorrarán dinero. Por tanto, si queremos mantener confort térmico pero también luchar contra el cambio climático y cumplir con los objetivos a los que nos comprometimos con la Unión Europea, [19] es necesario que se sigan desarrollando e implementando alternativas que disminuyan la demanda energética de acondicionamiento para evitar el derroche energético.

## 2 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Con respecto a la envolvente de los edificios, el tejado es de los componentes más críticos, se considera que es lo más importante a la hora de desarrollar medidas pasivas. Alcanza la máxima ganancia de calor en verano. En zonas climáticas cálidas, contribuyen en casi un 50-60 % a la carga total de refrigeración, debido a que es la parte más expuesta de un edificio a la radiación solar directa. [20]

Un diseño de tejado adecuado debe generar poca o ninguna carga de calor diaria. Últimamente, han utilizado el concepto de techo frío como iniciativa sostenible para diseñar tejados que reduzcan la carga de refrigeración de los edificios. Esta estrategia ha contribuido a crear confort térmico para los ocupantes, además de conservar la energía de los edificios.

Los techos fríos disminuyen la ganancia de calor manteniendo las superficies del tejado a menor temperatura que la de un tejado convencional, lo que reduce la conducción de calor hacia el edificio y su carga de refrigeración. Sin embargo, la integración de estas técnicas puede conllevar a una penalización en régimen de calefacción al neutralizar las ganancias solares.

Permiten optimizar el rendimiento energético y medioambiental de un edificio o de un entorno urbano, en función del uso, el diseño, el entorno y el clima. Reduce el consumo de electricidad en los edificios con aire acondicionado y ayudan a reducir las emisiones globales de carbono. Pueden aplicarse a todo tipo de tejados, incluidos los de edificios residenciales, bloques de apartamentos, estructuras industriales, edificios comerciales, hospitales y oficinas. [21]

### 2.3. Técnicas para la implantación de techos fríos

#### 2.1.1 Revestimiento reflectante

La forma más sencilla de transformar un techo convencional en uno frío es mediante el uso de materiales con una alta reflectividad (reflejan la radiación solar) y altos valores de emitancia infrarroja (liberan el calor absorbido), minimizando con ello el calor que se transfiere al interior. Podemos verlo en la Figura 2-1.

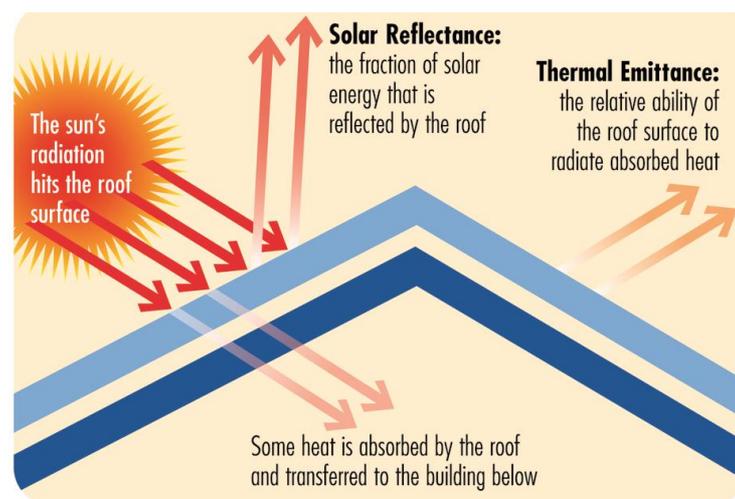


Figura 2-1. Funcionamiento del techo frío [22]

Esto suele conseguirse con pinturas gruesas, blancas o con pigmentos especiales altamente reflectantes. Se pueden aplicar tanto sobre techos con pendientes leves como pronunciadas. Además, lo podemos utilizar tanto

en superficies ya existentes como en superficies nuevas, son fáciles de aplicar, no requieren un mantenimiento complejo y el coste es relativamente bajo. [23]

Esta técnica conlleva un inconveniente en las ciudades con inviernos más fríos, porque los techos reflectantes pueden aumentar la demanda de calefacción y la condensación de la humedad en el techo crea el riesgo de que se forme moho. [24] Además, para eliminar completamente la carga de refrigeración necesitaría combinarse con otras técnicas.

### 2.1.2 Techos verdes

Los techos verdes tienen el mismo objetivo, pero estos se basan en el sombreado y en la pérdida de calor latente a través del proceso combinado de la evaporación de agua del sustrato y la transpiración de las plantas. Este proceso depende de las características del sustrato, el contenido de agua y el tipo de plantas usadas. [25] En condiciones de clima cálido, podría absorber alrededor de un 60% de la radiación solar y reducir la energía del aire acondicionado entre un 25 y un 80%. [26]

Un techo verde está compuesto de diferentes capas, como podemos ver en la Figura 2-2. De manera general podemos distinguir cuatro: una capa impermeable (a prueba de raíces), una para drenar, una filtrante y el sustrato, la cual servirá de anclaje para las raíces y que aporta un adecuado reservorio de agua, nutrientes y oxígeno.

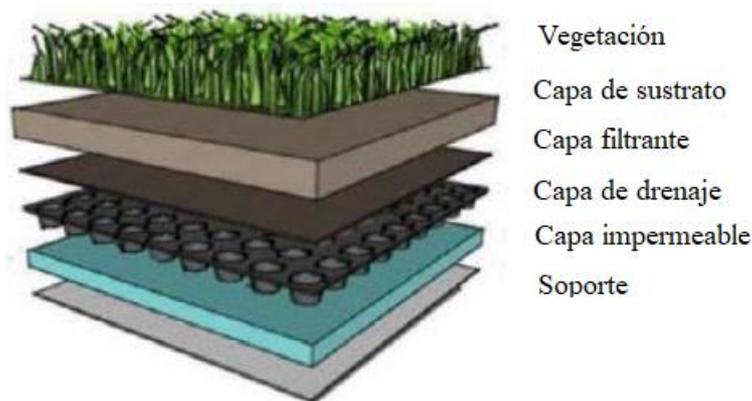


Figura 2-2. Capas de un techo verde. [27]

Existen tres tipos de techos verdes diferenciados por la profundidad del sustrato y el nivel de mantenimiento que necesitará [28]:

- Techos verdes extensivos. Tienen un sustrato ligero de profundidad reducida (<12 cm), necesitan poco mantenimiento y se diseñan para ser autosostenibles a lo largo del tiempo. Estos son los más tradicionales y los de menor coste.
- Techos verdes intensivos o jardines de techo. Usan un sustrato pesado y profundo (>20 cm), estos requieren mucho mantenimiento y son los más costosos.
- Techos verdes semi-intensivos. Su profundidad es un punto medio de los otros tipos (12 a 20 cm).



	Techo verde Extensivo	Techo verde Semi-intensivo	Techo verde Intensivo
<b>Mantenimiento</b>	Bajo	Periódicamente	Alto
<b>Irrigación</b>	No	Periódicamente	Regularmente
<b>Altura total del sistema</b>	60 - 200 mm	120 - 250 mm	150 - 400 mm
<b>Peso</b>	60 - 150 kg/m <sup>2</sup>	120 - 200 kg/m <sup>2</sup>	180 - 500 kg/m <sup>2</sup>
<b>Costos</b>	Bajo	Medio	Alto

Tabla 2-1. Clasificación de techos verdes. [28]

El peso es un factor importante para tener en cuenta, ya que las construcciones generalmente no están diseñadas para eso, hay que comprobar que tienen una estructura sólida. Por ello son más viables los techos extensivos, de menor peso (como se ve en la Tabla 2-1) en los que se instala el techo con una pequeña profundidad para asegurar el beneficio térmico y al mismo tiempo la resistencia de la casa. Como además usan plantas con raíces cortas que no requieren mucha demanda de agua, se convierten en los más usados. [26]

Pero muchas veces, al seleccionar las plantas (sobre todo en este tipo de techo verde) se hace más por su potencial para sobrevivir con menor demanda de agua que por su habilidad de proveer servicios ecosistémicos, esto lleva a que muchos techos verdes existentes tengan un desempeño deficiente en cuanto al aislamiento de la radiación solar y reducción de la temperatura en el edificio. [28]

Como vemos a continuación en la Tabla 2-2, en el tipo intensivo es donde encontramos una mayor variedad de plantas que podemos utilizar.

<b>Selección de la vegetación</b>			
<b>Clases de plantas</b>	<b>Tipo de techo verde</b>		
	<b>Extensivos</b>	<b>Semi- intensivos</b>	<b>Intensivos</b>
sedum	✓	✓	✓
musgos	✓	✓	✓
prados secos	✓	✓	✓
perennes de bajo crecimiento, resistentes a la sequía	✓	✓	✓
pastos	✓	✓	✓
plantas alpinas	✓	✓	✓
bulbos pequeños	✓	✓	✓
perennes de habitas poco húmedo		✓	✓
plantas anuales		✓	✓
arbustos pequeños		✓	✓
césped		✓	✓
arbustos medianos			✓
plantas comestibles			✓
pequeños arboles caducos			✓
coníferas			✓

Tabla 2-2. Selección de la vegetación. [29]

Esta técnica, además del ahorro energético, conlleva otras ventajas adicionales con su implantación que beneficia al ecosistema:

- Mejora estética: aumentar las zonas verdes se promueve desde hace tiempo como una estrategia fácil y eficaz para embellecer el entorno construido y aumentar las oportunidades de inversión.
- Gestión de las aguas pluviales: el agua es filtrada de forma natural al pasar a través del tejado verde. Se almacena en el sustrato y luego es absorbida por las plantas, que la devuelven a la atmósfera mediante la transpiración y la evaporación. [22]
- Mejora de la calidad del aire: Las plantas de los tejados verdes pueden capturar los contaminantes del aire y las deposiciones atmosféricas y también pueden filtrar los gases nocivos.
- Aíslan el ruido: Actúan como una barrera acústica, tanto con los sonidos de baja frecuencias y como los de alta frecuencia.

Como desventajas, hay que mencionar que en los techos verdes el coste inicial económico es de tres a cinco veces superior al de una cubierta convencional, aunque al final de su vida útil se espera que haya una rentabilidad con respecto al convencional. [26] Su instalación es compleja y si no se hace bien puede dañar la estructura, además de que no pueden instalarse en cualquier techo debido al peso. Además, debe combinarse con otras medidas para eliminar completamente la carga energética en las edificaciones.



Figura 2-3. Tejado verde en Sao Paulo, Brasil. [30]

### 2.1.3 “Roof pond”

Un “roof pond” o techo estanque es una técnica de enfriamiento pasivo que usa el agua como una masa térmica ideal debido a su alta capacidad calorífica volumétrica y por ser barata, no tóxica y de fácil acceso. Los beneficios de enfriamiento de los “roof ponds” se consiguen a través de enfriamiento evaporativo y/o enfriamiento radiativo. En ambos procesos el techo funciona como un elemento de intercambio de calor que se enfría por evaporación en la superficie o por radiación con el cielo. También funciona como un disipador de calor que absorbe el calor del interior del edificio. Como el techo está acoplado térmicamente a una balsa en el tejado, el espacio interior también se enfría por radiación y convección. [31] [32]

En general, un “roof pond” se cubre durante el día para evitar el calentamiento mientras absorbe el calor del interior del edificio y se abre durante la noche para enfriarse (esta operación se revierte en invierno para el calentamiento pasivo de la edificación). Se usan paneles aislantes móviles de diferentes materiales, son plegables o deslizantes y se recomienda que estén hechos de un material opaco altamente reflectante que aisle el estanque de la radiación solar y evite que el agua se sobrecaliente durante el día. Una cámara de aire separa la superficie del agua de la cubierta y funciona como una capa de aislamiento adicional. Podemos verlo en la Figura 2-4.

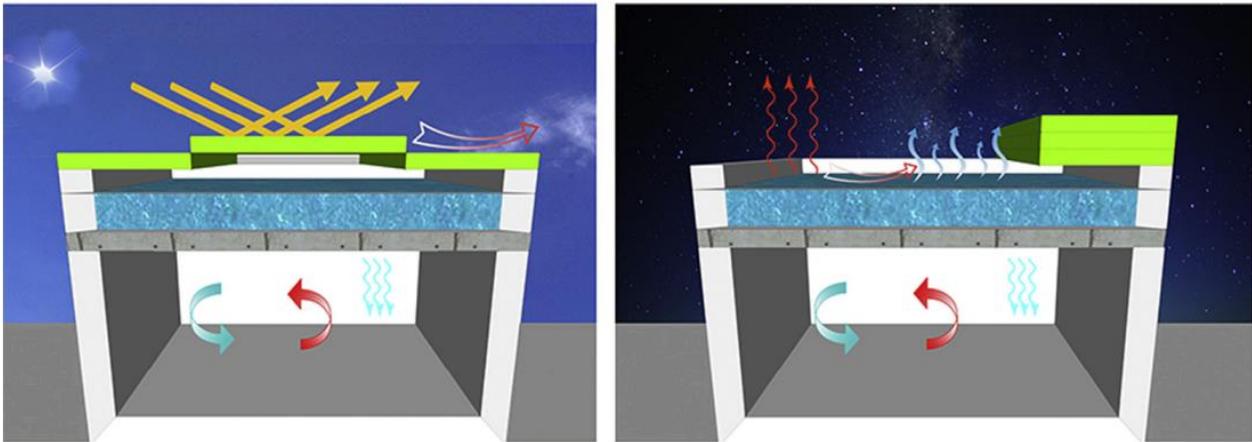


Figura 2-4. Techo con aislamiento móvil [31]

Las funciones térmicas de los “roof ponds” pueden variar de acuerdo con las diferentes configuraciones. Por ejemplo, pueden añadirse pulverizadores de agua, tanto en continuo como solo por la noche, lo que hará variar su efectividad. Otra configuración es la denominada Skytherm, que se diferencia de las comentadas anteriormente en que, en este sistema, el agua está encerrada en bolsas transparentes de polietileno o de cloruro de polivinilo (PVC) impermeables (thermoponds).

Hay que mencionar la variación más sencilla, la de techo abierto, donde el agua está siempre expuesta al ambiente por lo que su rendimiento no sería tan bueno. También existe la de techo fijo, pero la cubierta aislante por la noche reduce el enfriamiento por radiación. [33]

El agua necesita eventualmente airearse o que se coloque una pastilla clorada para evitar microorganismos, por ese motivo a veces se usa un ventilador. Aunque se utilice el ventilador o se ponga un motor para la cubierta móvil, se sigue considerando una técnica pasiva ya que la energía que requiere es muy poca. El diseño debe cuidar el menor consumo de agua y a su vez el menor mantenimiento posible. [34]

Las ventajas de los “roof ponds” son varias [31]:

- Existen muchos conocimientos sobre el diseño y el funcionamiento de la técnica.
- Son útiles tanto en climas áridos como templados.
- Pueden proporcionar beneficios en términos de gestión de las aguas pluviales y el agua almacenada también puede utilizarse para la extinción de incendios.
- A diferencia de muchas otras técnicas, el rendimiento de los “roof ponds” no se ve afectado por la orientación del edificio.
- No aumentan la humedad interior del edificio a un nivel indeseable.

En cuanto a las desventajas, hay que tener en cuenta [31]:

- Los “roof ponds” aumentan el peso entre 200 y 400 kg/m<sup>2</sup> y no se puede implementar en cualquier edificio, además sólo pueden instalarse sobre tejados planos.
- Afectan a la accesibilidad de la cubierta.
- En caso de mantenimiento inadecuado, pueden producirse filtraciones y problemas de contaminación del agua.
- Generalmente sólo pueden proporcionar confort en edificios de una o dos plantas.
- Se debe combinar con otras medidas pasivas para eliminar completamente las cargas energéticas de los edificios.

### 2.1.4 Cubierta ventilada con evaporativo

La cubierta ventilada activa es una técnica pensada para zonas climáticas con régimen de refrigeración dominante y edificios con pocas plantas. Además, suponemos mayor efectividad en climas donde se produce una notable diferencia de temperatura por la noche.

Está formada por dos capas entre las cuales existe una cámara de aire por la que se establece una ventilación forzada mediante un sistema de ventiladores. La ventilación está automatizada para que se realice la ventilación cuando resulta beneficioso desde el punto de vista energético, consiguiendo así enfriar los espacios bajo cubierta. [35]

Entonces, en este proceso podemos distinguir 3 modos de operación como podemos ver representado en la Figura 2-5:

- Modo día: Durante el día, cuando las temperaturas exteriores son altas, las compuertas se mantienen cerradas y no se produce ventilación. La superficie exterior es aislante para evitar que el calor se transfiera a la cámara de aire donde tenemos el frío que hemos almacenado durante la noche. Por tanto, ese frío ingresa al interior del edificio.
- Modo noche: Durante la noche, cuando la temperatura exterior ha disminuido lo suficiente con respecto a la temperatura a la que se encuentre la cámara, las compuertas se abren y se activa la ventilación. Gracias a esto se enfría la cámara de aire y el interior de la cubierta.
- Modo noche con enfriamiento: Si durante la noche la temperatura exterior no ha bajado lo suficiente para poder enfriar la cámara, se activa un sistema de enfriamiento evaporativo para conseguir esa reducción de temperatura. Incluir este sistema adicional aumenta el coste de la instalación, pero consigues una mayor eficiencia.

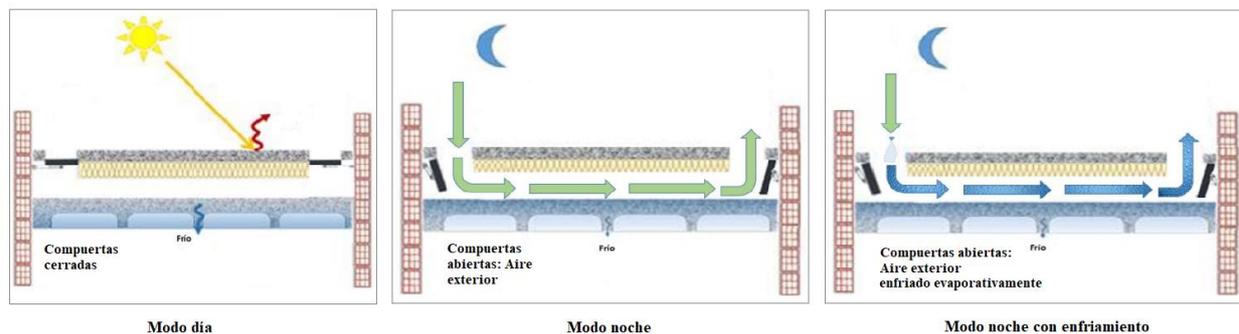


Figura 2-5. Modos de la cubierta ventilada. [35]

Con respecto a la automatización de la ventilación, se optimiza el rendimiento de la cubierta estableciendo un horario nocturno de funcionamiento acompañado de unas condiciones que deben cumplirse relativas al clima. De esta forma se asegura un correcto funcionamiento. [35]

Además de la que acabo de explicar, existen diferentes configuraciones de los sistemas de cubierta ventilada. Por ejemplo, donde no hay ventilación forzada. Ahí el aire se mueve gracias al viento y a la diferencia de temperaturas, removiendo el calor acumulado. También se pueden distinguir tipos de ventilación dependiendo de la forma de la cámara de aire. En las cubiertas ventiladas inclinadas la propia forma de la cámara provoca la circulación del aire, incrementándose cuanto mayor es la pendiente. Aunque sea menos efectiva, tiene un menor coste de implementación. [32]

Por ejemplo, en la Figura 2-6 vemos una cubierta que, además de proporcionar sombra sobre el edificio, permite la circulación del aire entre el techo y la propia cubierta.

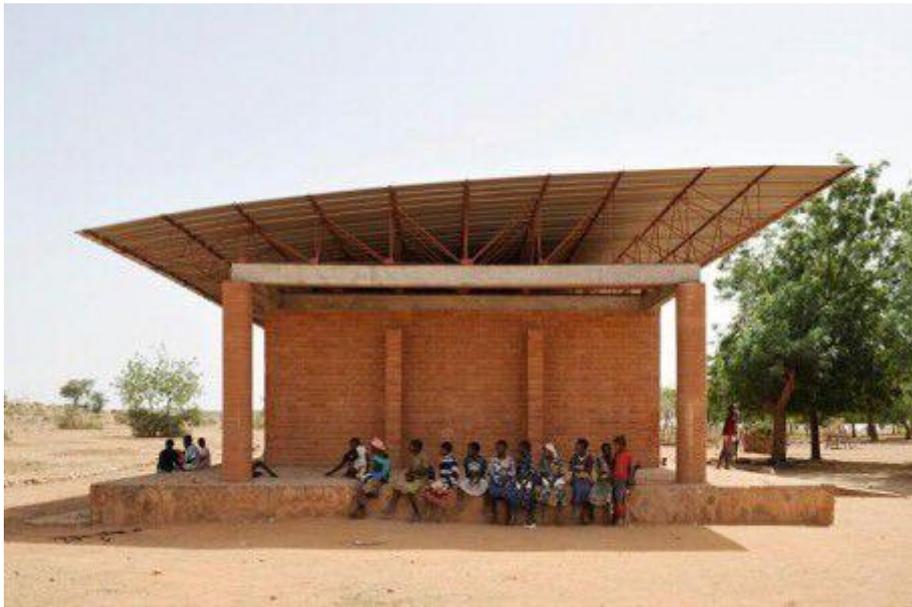


Figura 2-6. Cubierta en escuela primaria en Gando, Burkina Faso, de Francis Kéré. [36]

## 2.2 Estudios teóricos o experimentales

### 2.2.1 Revestimiento reflectante

El primer estudio que vamos a analizar se realizó en Costa Rica. [37] El clima era cálido-húmedo y se llevó a cabo en el tipo de cubierta más utilizado allí: láminas de hierro galvanizado con zinc. Se aplicó una pintura a base de agua con acabado color blanco mate, con las propiedades indicadas en la Tabla 2-3.

Propiedades físicas:	Datos:
Sólidos por volumen (%)	67- 69
Sólidos por peso (%)	52- 54
Peso por galón (kg/gal)	2.8 – 3.0
Viscosidad Stormer Krebs (Ku)	110- 120

Tabla 2-3: Propiedades físicas del recubrimiento utilizado según la ficha técnica del fabricante. [37]

Los resultados mostraron una disminución de 0.85 °C de la temperatura superficial media en la lámina donde se aplicó el recubrimiento frío con respecto a la que no se aplicó nada. La diferencia se mantuvo independiente de la hora del día y del estado de nubosidad del cielo.

En otro estudio realizado en Florida, [38] calcularon durante un verano las diferencias entre varias viviendas con diferentes tejados. El objetivo era determinar cómo las cargas de energía de refrigeración y calefacción de un edificio se ven afectadas en función de la reflectancia solar y la emitancia infrarroja de los tejados.

Los análisis mostraron que los sistemas de tejados blancos altamente reflectantes reducían las necesidades de energía de refrigeración anuales un 18-26% y la demanda máxima entre un 28 y un 35% en el sur de Florida.

También analizamos un estudio donde los autores controlaron el uso de electricidad del aire acondicionado, la temperatura de la superficie del tejado y las temperaturas del aire interior y exterior, (entre otras variables

ambientales) en tres edificios de California. [39] El objetivo era abordar algunas de las cuestiones prácticas relativas a la implantación de tejados reflectantes en algunos edificios comerciales.

El recubrimiento de los tejados de estos edificios con un revestimiento reflectante aumentó el albedo del tejado de una media de 0,20 a 0,60. La temperatura de la superficie del tejado en las calurosas y soleadas tardes de verano descendió de 175 F a 120 F (79.4 °C a 48.8 °C) tras la aplicación del revestimiento. El consumo medio diario de electricidad para el aire acondicionado en verano se redujo en cada uno de los tres edificios en un 18%, un 13% y en un 2%.

Por último, en 2021 se creó una pintura ultra blanca que refleja hasta el 98.1% de la luz solar. Para ello usaron una concretación muy alta de sulfo de barrio. Se realizaron simulaciones con la pintura (reflectancia del 97.6%) y la temperatura se mantuvo 4,5°C por debajo de la temperatura ambiente. [40]

### 2.2.2 Techo verde

El primer estudio de techos verdes que vamos a ver se realizó en parte del tejado de un edificio del campus de la Universidad estatal de Michigan. [41] Se instaló una cubierta extensiva de 325,2 m<sup>2</sup>. Sobre el aislamiento del tejado existente, se colocó una barrera antirraíces, una capa de drenaje, seguida de una de retención de agua. Después se instaló un soporte que contenía al menos una capa de 5 cm con plantas ya cultivadas.

En este estudio se compara la temperatura de la cubierta verde extensiva con la cubierta tradicional en un clima caracterizado por veranos cálidos y húmedos e inviernos fríos y nevados. A lo largo de un año, las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales y los flujos de calor fueron sistemáticamente más extremos en la cubierta convencional que en la verde. En otoño, las temperaturas de la cubierta verde eran generalmente 5 °C más bajas que las de la cubierta de grava. En primavera las variaciones de temperatura fueron similares a las de otoño. Las diferencias de temperatura máxima eran mayores en verano que en otras estaciones (a veces hasta 20 °C). A lo largo de un año (septiembre de 2005-agosto de 2006), las temperaturas máximas y mínimas medias mensuales y los flujos de calor fueron sistemáticamente más extremos para la cubierta de grava que para la cubierta verde.

Tras una extrapolación, concluyen que la implantación de esta técnica en la ciudad puede reducir la demanda energética entre un 5 y 16%, maximizándose en la última planta de los edificios.

En Tesalónica, la segunda ciudad más grande de Grecia, se realizó un estudio teórico con el objetivo de evaluar el potencial de las cubiertas verdes y la cuantificación de sus beneficios. [42] Se extrajo la extensión potencial de las cubiertas verdes con un error medio de 8,78 m<sup>2</sup>. Posteriormente, se extrapolaron los resultados desde el edificio a la escala de la ciudad. El potencial de captación de carbono, la retención de agua de lluvia y la conservación de energía se estimaron a partir de los coeficientes adoptados tras una exhaustiva revisión bibliográfica y simulaciones energéticas dinámicas reales.

El potencial de las cubiertas verdes en Tesalónica se estimó en un 17% de la superficie bruta construida de la ciudad, lo que significa que existe un gran potencial para la rehabilitación de cubiertas verdes. Dependiendo del tipo de vegetación que se instale en un tejado verde, las simulaciones energéticas dinámicas sugieren que en determinadas manzanas de la ciudad se podría conseguir una reducción del consumo de calefacción y refrigeración de hasta el 5% y el 16% respectivamente.

### 2.2.3 Roof ponds

[43] El clima en Bagdad, Irak, es cálido y seco en verano, mientras que el agua es abundante y barata. Estas son las condiciones que favorecen el uso de la refrigeración por evaporación. En este estudio se utilizó un edificio para probar el efecto de un estanque en el techo para la refrigeración en verano. Se realizaron mediciones térmicas de la sala en condiciones normales sin estanque, con un estanque y, por último, estanque con ventilación forzada mecánicamente. Los resultados mostraron una notable mejora en la temperatura en la sala, con una reducción significativa de las temperaturas exteriores máximas que alcanzaron 6,5°C entre la sala sin el estanque y la del estanque con ventilación.

## 2.2.4 Cubierta ventilada con evaporativo

[35] Este estudio se realiza en Mengíbar, Jaén. Abarca 150 viviendas en 14 edificios agrupados en 6 núcleos. Primero se llevan a cabo medidas generales de rehabilitación y después se analiza el impacto de la integración de la cubierta activa con evaporativo. La cubierta activa está formada por una cámara de aire de 5 cm entre la cubierta existente y el muro exterior, similar a una fachada ventilada convencional. El muro exterior se encuentra aislado en forma de “sándwich” de EPS, con un espesor total de 8 cm, aportando una gran capacidad de aislamiento.

En sus resultados mostraron el impacto en la reducción de la demanda para diferentes modos de operación. Primero, con la integración de la cubierta activa en modo ventilación operando solo por la noche, después con la cubierta activa en modo ventilación y evaporativo operando también solo por la noche y, por último, en el caso de funcionar durante las 24 horas del día. En la Tabla 2-4 podemos ver los porcentajes de mejora en la demanda de refrigeración con este estudio.

Tipo de mejora	Demanda de refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> ·año)	% de mejora
Convencional + cubierta activa (8h sólo ventilación)	15.56	28
Convencional + cubierta activa (8h ventilación y evaporativo)	13.19	39
Convencional + cubierta activa (24h ventilación y evaporativo)	7.66	65

Tabla 2-4. Reducción de la demanda con cubierta activa [35]

En este trabajo se había planteado la técnica operando con ventilación y evaporativo solo por la noche, por tanto, estaríamos hablando de una reducción en la demanda del 39% en ese caso.

## 2.2.5 Resumen de los estudios

Estudio	Técnica	Propiedades relevantes	Teórico/Experimental	Análisis de impacto
[37]	Reflectante	Pintura a base de agua con acabado blanco mate	Experimental	Reducción de la temperatura: 0.85 °C
[38]	Reflectante	Tejados blancos altamente reflectantes	Experimental	Reducción de la demanda de ref.: 18-26%
[39]	Reflectante	Tejados reflectantes	Experimental	Reducción de la demanda de ref: 2-18%
[40]	Reflectantes	Reflectividad 97.6%	Experimental	Reducción de la temperatura: 4.5°C
[41]	Techo verde	Cubierta verde extensiva de 325 m <sup>2</sup> Capa sustrato: 5 cm	Experimental	Reducción de la demanda: 5-16%

[42]	Techo verde	Diferentes tipos de vegetación	Teórico	Reducción de la demanda ref.: 16%
[43]	Roof ponds	Roof pond con ventilación forzada	Experimental	Reducción de la temperatura: 6,5 °C
[35]	C. ventilada	Espesor del muro: 8 cm Cámara de aire: 5 cm	Experimental	Reducción de la demanda ref.: 39%

Tabla 2-5. Aplicación de las diferentes técnicas

# 3 METODOLOGÍA

## 3.1 Descripción general

La metodología utilizada en el Trabajo de Fin de Grado se muestra en la figura 3-1. El objetivo es evaluar el impacto de la integración de las diferentes técnicas en diferentes tipologías de edificios y zonas. La etapa 1 consiste en elegir las soluciones que se van a estudiar, siendo finalmente: revestimiento reflectante, techo verde y roof pond implantadas en dos edificios: vivienda aislada sur (zona climática B4) y vivienda pareada este (zona climática A3). Concretamente los casos que se estudiarán para cada uno de estos dos edificios serán:

- Revestimiento reflectante con absortividad alta (Caso A)
- Revestimiento reflectante con absortividad baja (Caso C)
- Techo verde con riego desde 9h hasta las 20h
- Techo verde con riego desde las 11 hasta las 16h
- Rood ponf

La etapa 2 consiste en el cálculo de las temperaturas de excitación. Partimos de unas condiciones climáticas tipo que serán modificadas para evaluar el impacto. La cubierta está siempre en contacto con una temperatura exterior y será esa temperatura la que modifiquemos para realizar la nueva simulación. El cálculo de esa nueva temperatura variará dependiendo de la técnica que estemos estudiando, esto se explica en detalle a continuación. La etapa 3 consiste en realizar las simulaciones de cada uno de los casos que hemos contemplado utilizando para ello la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC). Una vez finalizadas las simulaciones, en la etapa 4 se procede a la evaluación y discusión de los resultados obtenidos en cada caso.



Figura 3-1. Esquema de metodología

## 3.2 Cálculo de temperatura de excitación

### 3.2.1 Revestimiento reflectante

En este caso, la excitación se ha modelado con una temperatura sol-aire. Tiene en cuenta tanto el impacto de la temperatura ambiente como la influencia de la radiación solar.

$$T_{solair} = T_{eq} + \frac{\alpha * I}{h_{cre}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$T_{eq} = \frac{h_{ce} * T_{ae} + h_{re} * T_{re}}{(h_{ce} + h_{re})} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$h_{cr} = h_{ce} + h_{re} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Suponiendo:

$$h_{ce} = 2.8 + 3 * vel$$

$$h_r = 5$$

Donde la  $T_{ae}$  es la temperatura del aire,  $h_{ce}$  es el coeficiente convectivo,  $T_{re}$  es la temperatura del cielo,  $h_{re}$  es el coeficiente radiante,  $\alpha$  es la absorptividad de la pintura aplicada,  $I$  es la radiación global incidente,  $h_{cre}$  es el coeficiente convectivo-radiante y  $vel$  es la velocidad del viento. Estos valores dependen de la zona climática que se esté estudiando.

- Caso A: Primero se calcula con un valor de absorptividad de 0,3. (Tabla 3-1) Un valor alto que hace referencia al de la pintura blanca.

<b>LUZ Y COLOR</b>			
<b>PROPIEDADES</b>			
<b>REFLECTANCIA</b>			
<i>Poder reflectante de algunos colores y materiales</i>			
<b>Color</b>	<b>Refl. %</b>	<b>Material</b>	<b>Refl. %</b>
Blanco	70-75	Revoque claro	35-55
Crema claro	70-80	Revoque oscuro	20-30
Amarillo claro	50-70	Hormigón claro	30-50
Verde claro	45-70	Hormigón oscuro	15-25
Gris claro	45-70	Ladrillo claro	30-40
Celeste claro	50-70	Ladrillo oscuro	15-25
Rosa claro	45-70	Marmol blanco	60-70
Marrón claro	30-50	Granito	15-25
Negro	4-6	Madera clara	30-50
Gris oscuro	10-20	Madera oscura	10-25
Amarillo oscuro	40-50	Vidrio plateado	80-90
Verde oscuro	10-20	Aluminio mate	55-60
Azul oscuro	10-20	Aluminio pulido	80-90
Rojo oscuro	10-20	Acero pulido	55-65

Tabla 3-1. Valores de la reflectancia en algunos colores y materiales [44]

- Caso B: Después se lleva a cabo con una absorptividad media de 0,15. Las pinturas comerciales que se diseñan para rechazar el calor tienen una reflectancia de entre 80-90%. [45]
- Caso C: Por último, se calcula con una absorptividad baja de 0,021. En la última formulación de la pintura blanca con mayor reflectancia creada, alcanza un nivel de reflectancia solar de 97,9% con una sola capa de pintura de 150 micras, es el valor que se ha utilizado. [46]

### 3.2.2 Techo verde

Para los techos verdes se calculará la temperatura de la misma forma que en el revestimiento reflectante excepto en las horas en las que se riega.

- Cuando no hay riego se modela para una temperatura sol-aire:

$$T_{solair} = T_{eq} + \frac{\alpha * I}{h_{cre}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$T_{eq} = \frac{h_{ce} * T_{ae} + h_{re} * T_{re}}{(h_{ce} + h_{re})} \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$h_{cr} = h_{ce} + h_{re} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Suponiendo:

$$h_{ce} = 2.8 + 3 * vel$$

$$h_r = 5$$

Donde la  $T_{ae}$  es la temperatura del aire,  $h_{ce}$  es el coeficiente convectivo,  $T_{re}$  es la temperatura del cielo,  $h_{re}$  es el coeficiente radiante,  $\alpha$  es la absortividad del color verde,  $I$  es la radiación global incidente,  $h_{cre}$  es el coeficiente convectivo-radiante y  $vel$  es la velocidad del viento. Estos valores dependerán de la zona climática que estemos estudiando.

En este caso el valor de  $\alpha$  sería de 0,5 (Tabla 3-1).

- Para modelar la temperatura cuando hay riego se calcula:

$$T_{sa} = \frac{h_{ce} * T_{bh} + h_{re} * T_{re}}{(h_{ce} + h_{re})} + \frac{\alpha * I}{h_{cre}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$T_{bh} = T_{ae} * HR \quad (\text{Ecuación 5})$$

Suponiendo:

$$h_{ce} = 30$$

$$h_r = 5$$

Donde la  $T_{sa}$  es la temperatura potenciada con evaporativo y HR es la humedad relativa.

Se estudian varios casos para el techo verde. El riego se hará siempre en los meses de verano (junio, julio y agosto) todos los días, la diferencia son las horas en las que se riega. Inicialmente se estudian tres casos; primero que comienza el riego a las 10h y se corta a las 14h, en otro comienza a las 13h y termina a las 20h, y por último comienza a las 9h y termina a las 20h. Debido a las diferencias entre los resultados, se analiza la radiación solar en verano para escoger con mejor criterio las horas de riego y, para evitar un excesivo consumo de agua, serán 5 horas de riego al día. Finalmente se decide para el último caso estudiado que el riego comience a las 11 y termine a las 16h.

### 3.2.3 Roof ponds

En este caso la temperatura de excitación será la temperatura del agua. El cálculo de la temperatura de agua se hace como un balance, partiendo de la siguiente ecuación:

$$\frac{H\rho c_p dT_w}{dt} = q_{conv.sup.}^{t+\Delta t} + q_{conv.fondo}^{t+\Delta t} + q_{evap.sup.}^t + q_{rad.sup.}^{t+\Delta t} + G^{t+\Delta t} + \sum_{j=1}^m \dot{m}_{j-w}^t c_p T_j^t - \sum_{i=1}^n \dot{m}_{w-i}^t c_p T_w^t \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde la temperatura depende del intercambio convectivo de la superficie con el aire, del intercambio convectivo del fondo de la lámina con el aire, de la evaporación, del intercambio por radiación, la absorción del agua de la radiación solar (G) y del caudal que entra y sale.

Si simplificamos la ecuación para poder realizar los cálculos obtenemos:

$$T_w = \left(T_{bh} + \frac{P_2}{P_1}\right) + \left(T_w^{t-\Delta t} - \left(T_{bh} + \frac{P_2}{P_1}\right)\right) * e^{-P_1 * \Delta t} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde  $T_w$  es la temperatura del agua y  $T_{bh}$  es la temperatura de bulbo húmedo. Las temperaturas aparecen en el instante  $t$  o en el instante  $t - \Delta t$ .

Siendo  $P_1$  y  $P_2$ :

$$P_1 = \frac{ren}{h} * \varepsilon \quad (\text{Ecuación 8})$$

El término  $P_1$  tiene en cuenta las renovaciones que se harán del agua y la eficiencia al hacerlo. En este caso se supone que el espesor de agua se mantendrá constante (conforme baja el nivel del agua se repone la misma cantidad a la misma temperatura), por tanto ese término será igual a 1.

$$P_2 = \frac{1}{\rho_w * \delta * C_{pw}} * \left(G_s + \frac{G_{eq}}{A}\right) \quad (\text{Ecuación 9})$$

Para el cálculo de  $P_2$  se utiliza el  $C_{pw}$  que es el calor específico del agua,  $\rho_w$  que es la densidad del agua,  $\delta$  que es el espesor del agua que hay en la superficie,  $G_s$  que es la radiación absorbida,  $A$  es el área de superficie utilizado y  $G_{eq}$  sería el calor absorbido de las baterías, pero en este caso no utilizamos por tanto ese término sería 0. Lo que dejaría la ecuación de la siguiente forma:

$$P_2 = \frac{1}{\rho_w * \delta * C_{pw}} * G_s$$

$$G_s = \alpha * r_{global}$$

Siendo  $\alpha$  la absorptividad y  $r_{global}$  sería la radiación global.

Para realizar los cálculos se ha supuesto un espesor de 10 cm. [47]

### 3.3 Modelización con capacidad adicional

El fundamento principal del modelado de la capacidad adicional genérica de la cubierta estudiada consiste en la sustitución de la excitación a la que se encuentra sometida la cubierta en la situación inicial, por la excitación modificada que previamente hemos calculado.

- Paso 1.

Se debe calcular la nueva temperatura de excitación modificada para cada caso que será simulado. Esta temperatura se calcula con el método explicado anteriormente a partir de unos valores de clima genéricos para un año tipo de la zona B4 o A3 (dependiendo del caso que estemos estudiando). Como ya se mencionó, los casos simulados son:

- Revestimiento reflectante con absorptividad alta (Caso A)
- Revestimiento reflectante con absorptividad baja (Caso C)
- Techo verde con riego desde 9h hasta las 20h
- Techo verde con riego desde las 11 hasta las 16h
- Rood ponf

Para cada uno de ellos se debe obtener la temperatura de excitación en cada zona climática que queramos estudiar.

- Paso 2

Se toma de base un edificio, cuyas características aparecen en el anexo A, y se realizan modificaciones en la base de datos del programa para que cumplan con las calidades constructivas impuestas por el código técnico

de la edificación. Para ello se modifica el valor de la transmitancia del muro, suelo, cubierta y ventana (Tabla 3-2) cambiando los espesores de algunos de los materiales.

Elemento	Zona climática de invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior ( $U_s, U_m$ )	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior ( $U_c$ )	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno ( $U_T$ ) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica ( $U_{MD}$ )	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) ( $U_H$ )*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

\*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de  $U_H$  en un 50%.

Tabla 3-2: Valores límite de transmitancia térmica,  $U_{mín}$  [W/m<sup>2</sup>K]. [48]

- Paso 3

Se procede entonces al cálculo de la demanda energética del edificio elegido utilizando el programa. Podemos encontrar los resultados del cálculo en un archivo llamado NewBDL\_O, En él aparece la demanda de refrigeración mensual y anual del edificio antes de realizar ninguna modificación, también aparecen otros datos pero no son relevantes para lo que queremos estudiar en este trabajo. Estos resultados serán la base para ver el efecto de implementar las técnicas mencionadas anteriormente, ya que los usaremos de referencia para calcular la reducción en la demanda.

- Paso 4

Lo siguiente es volver a calcular la demanda energética del edificio para cada caso que queremos estudiar. Para ello lo que se hace es integrar la nueva excitación calculada modificando las variables asociadas al clima exterior.

Partimos del mismo edificio para el que hemos calculado la demanda en el paso anterior. El programa cuenta con una función que te permite exportar e importar datos, lo primero que se debe hacer es seleccionar de cada espacio modelado, la cubierta asociada a dicho espacio. Una vez seleccionada la cubierta completa, donde se lleva a cabo la implementación de la solución innovadora, se procede a la exportación de datos. Al final de la exportación aparecerá una nueva carpeta del proyecto denominada Datos\_CA\_GEN que contendrá un Excel por cada zona seleccionada con diferentes variables asociadas al clima.

- Paso 5

Para cada caso se deberá repetir el mismo procedimiento: crear una copia de todos los archivos exportados que aparecen en la carpeta y cambiarles el nombre, ya que el programa exporta los datos como \_ICF e importa los archivos denominados \_MCF. Cada uno de los archivos "MCF" creado debe ser modificado.

Independientemente de la técnica que estemos implementando, se sustituirán los valores del coeficiente de película exterior y radiante por valores altos para imponer la temperatura calculada. En este caso se sustituyó por 1000 W/m<sup>2</sup>\*K en ambos casos para todo el año. Además, dado que la temperatura de excitación calculada e impuesta representa la influencia de la radiación, se anula la radiación directa y difusa de los archivos.

Los datos que van variando en función de la técnica son los impuestos en la temperatura exterior y temperatura radiante exterior, ya que se sustituye por la temperatura de excitación que se calcula para cada caso.

- Paso 6

Una vez generados y modificados los archivos, se procede a la importación de los mismos en la herramienta unificada y al cálculo del caso. Tras calcular se genera una gráfica donde representa los valores obtenidos y un archivo denominado NewBDL\_OCA donde podremos encontrar la nueva demanda de refrigeración anual y mensual.

## 4 DEFINICIÓN DE TIPOLOGÍAS DE EDIFICIOS

Para proponer medidas que mejoren el comportamiento energético del edificio hay que tener información sobre su tipología. En este trabajo nos centraremos en las residencias unifamiliares.

Para poder abarcar toda la casuística de edificios residenciales se opta por seleccionar tres edificios unifamiliares. Se trata de una vivienda aislada, una vivienda pareada, y por último una vivienda entre medianeras, correspondiendo a tres niveles de compacidad: baja, media y alta, respectivamente.



Figura 4-1. Viviendas seleccionadas.

Para la vivienda entre medianeras y la vivienda pareada se toma la misma geometría básica, aunque con una o dos medianeras (según corresponda) y la diferencia de huecos lógica que exista entre ambas.

La compacidad por la que se opta para cada una de las tipologías (cuyas compacidades medias difieren lógicamente en función del número de medianeras) es la promedio. Se entiende que la forma del edificio, (es decir su geometría) es algo que puede controlar el arquitecto.

En cuanto a la tabla de combinación de compacidades y orientaciones para establecer subcategorías, veremos los siguientes casos:

		COMPACIDAD		
		BAJA	MEDIA	ALTA
ORIENTACIÓN	BUENA	UNIF_AISLADA_SUR	---	UNIF_ENTREMEDIANERAS_SUR
	MEDIA	---	UNIF_PAREADA_SURESTE	---
	MALA	UNIF_AISLADA_ESTE	---	UNIF_ENTREMEDIANERAS_ESTE

Para edificios con las ventanas claramente expuestas a una dirección predominante será favorable que esta orientación sea al sur, y la más desfavorable a priori será que esté en orientación norte.

Pero determinar el escenario más desfavorable para un edificio con dos fachadas paralelas acristaladas de forma parecida es más complicado, porque puede darse en orientación norte/sur o este/oeste donde se compensan entre sí las ganancias y pérdidas térmicas de cada una.

Por eso para la vivienda aislada y la vivienda entre medianeras, se presupone que la orientación buena es la norte/sur teniendo en cuenta la relación de ventanas en cada fachada, y la peor orientación será ubicar la fachada principal al este.

En el Anexo A se muestran los edificios seleccionados junto con las fichas descriptivas que recogen los parámetros característicos básicos que los definen. Veremos los diferentes tipos de viviendas para las zonas climáticas: A3, B4, C2, D3, E1.

# 5 DEFINICIÓN DE CLIMAS (ANDALUCÍA)

El comportamiento energético de los edificios está influenciado en gran medida por el clima, que afectará a la disminución de la demanda energética del edificio cuando se implanten las diferentes técnicas.

Según el código técnico de edificación, en España hay 12 zonas climáticas como podemos ver en la Figura 5-1.

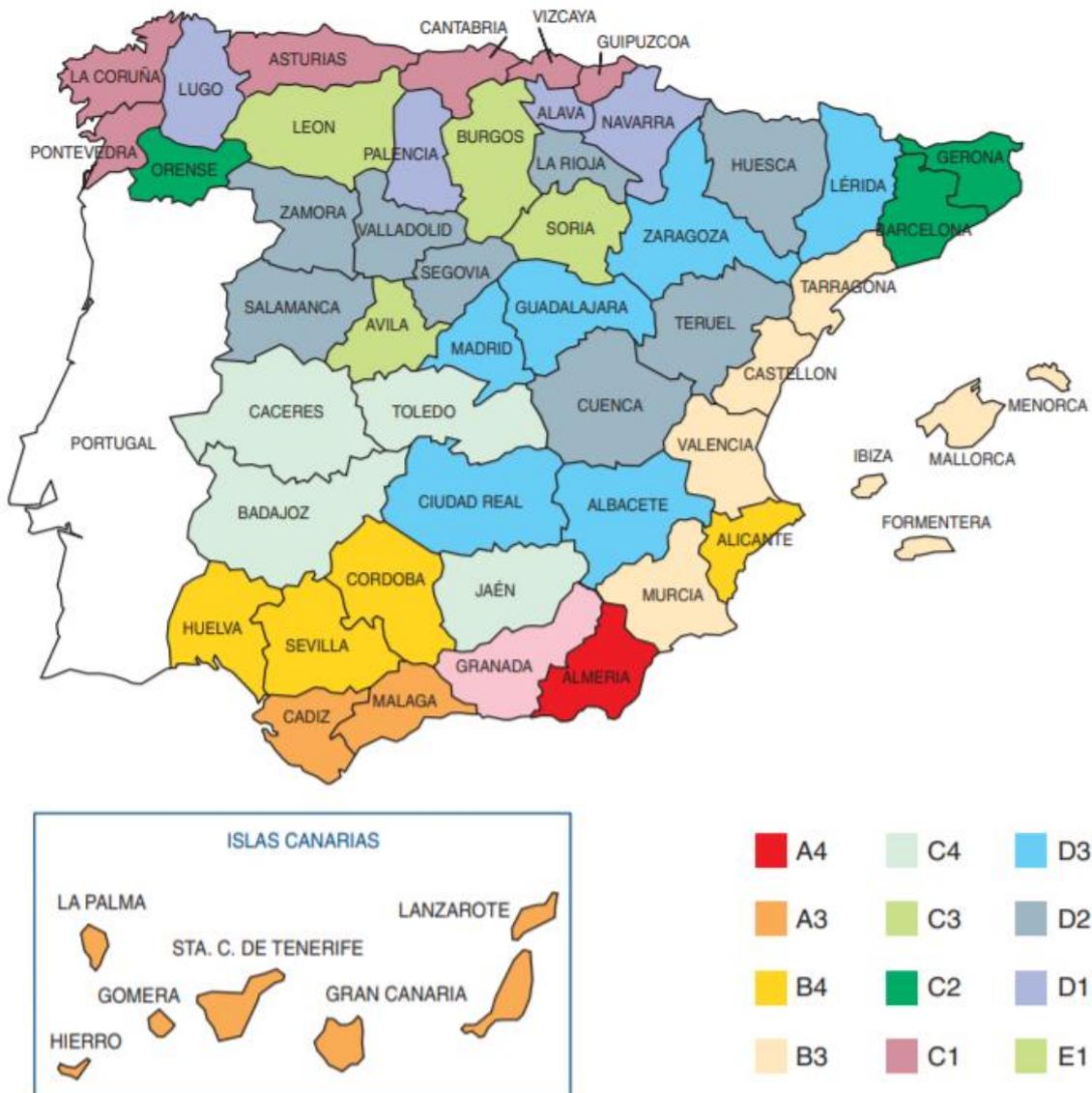


Figura 5-1. Mapa de climas en España [49]

En este trabajo vamos a centrarnos en Andalucía, donde encontramos 5 zonas climáticas. Concretamente Jaén es de la zona C4, Granada C1, Almería A4, Cádiz y Málaga tienen ambas A3 y por último Sevilla, Córdoba y Huelva comparten la zona B4. Se puede ver en la Figura 5-2.

El clima cálido nos interesa para la implantación de estas técnicas de mejora y podemos ver que en Andalucía hay varias ciudades con un 4, que es el clima más cálido que hay según este código.

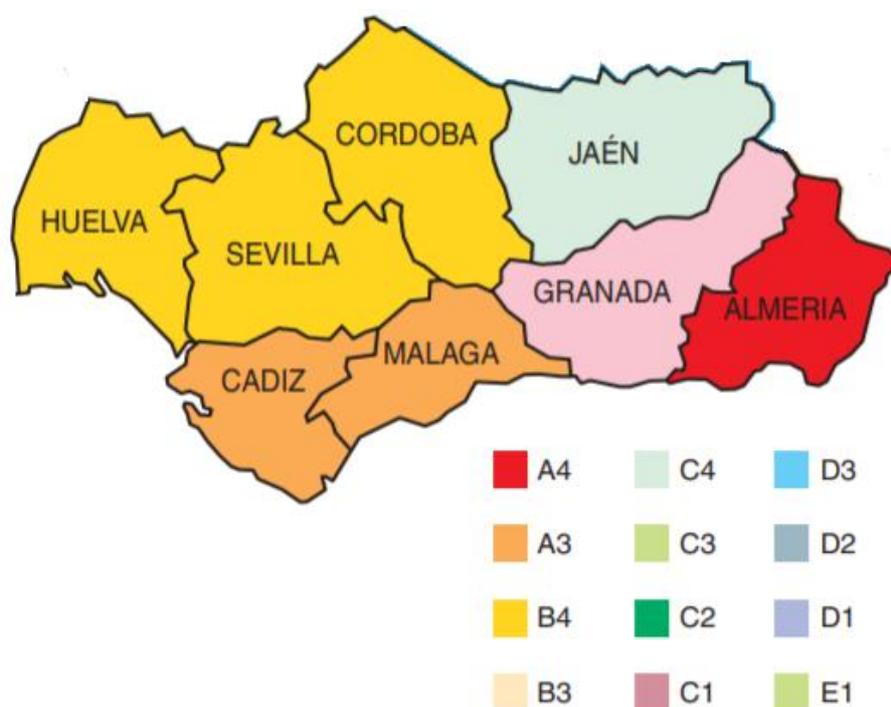


Figura 5-2. Mapa de climas en Andalucía [49]

Para llevar a cabo la evaluación necesitamos medidas climáticas reales para obtener resultados más fiables, en este caso extrayendo las temperaturas para cada provincia de la red de estaciones agrometeorológicas de SiAR, utilizando la estación más cercana. En la Tabla 5-1 se han recopilado las temperaturas media, máxima y mínima de cada provincia, que serán necesarias para evaluar el impacto.

Provincias	Cádiz	Málaga	Almería	Sevilla	Córdoba	Huelva	Granada	Jaén
Zona climática	A3	A3	A4	B4	B4	B4	C1	C4
Temperatura media °C	23.38	25.1	25.18	25.47	26.46	23.48	24.13	25.81
Temperatura máxima °C	42.63	41.6	37.22	44.55	46.79	39.89	43.77	46.66
Temperatura mínima °C	11.71	13.36	15	12.3	11.59	11.76	8.34	9.03

Tabla 5-1. Datos del verano 2021. Andalucía

Para la implantación de la cubierta ventilada es interesante saber cuál es la variación de temperatura entre el día y la noche en verano, para ello hemos usado las temperaturas máximas y mínimas que se producen en un mes de verano. Encontramos los datos en la Tabla 5-2.

Provincias	Cádiz	Málaga	Almería	Sevilla	Córdoba	Huelva	Granada	Jaén
Zona climática	A3	A3	A4	B4	B4	B4	C1	C4
Tª máx. media de día °C	26.88	29.033	27.98	31.43	33.31	28.77	30.78	32.61
Tª mín. media de noche °C	15.46	16.83	19.2	15.75	15.83	14.76	13.75	14.46
Variación media de temperatura °C	11.42	12.2	8.78	15.68	17.48	14.01	17.02	18.15

Tabla 5-2. Variación de la temperatura día/noche en junio de 2021

Resultarán más beneficiosas las provincias con mayor variación de temperatura y menor temperatura de noche. En las gráficas que hay a continuación podemos ver la evolución que se produce día a día en cada provincia.

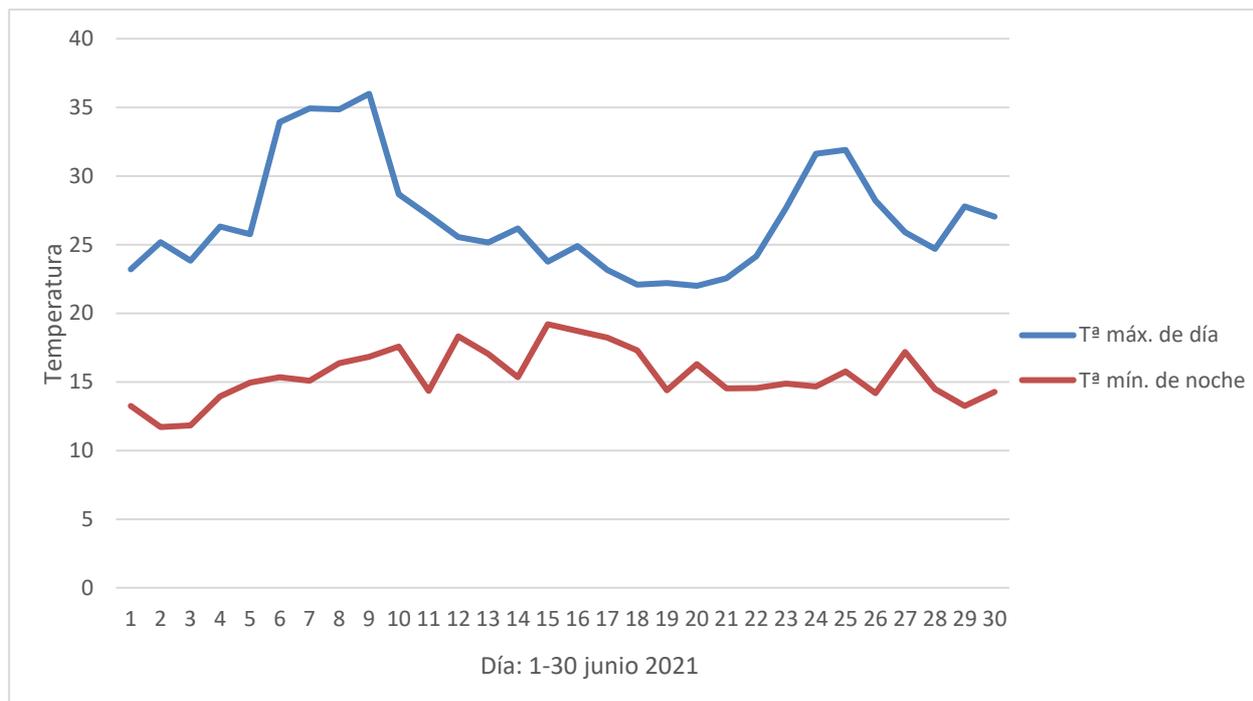


Figura 5-3. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Cádiz

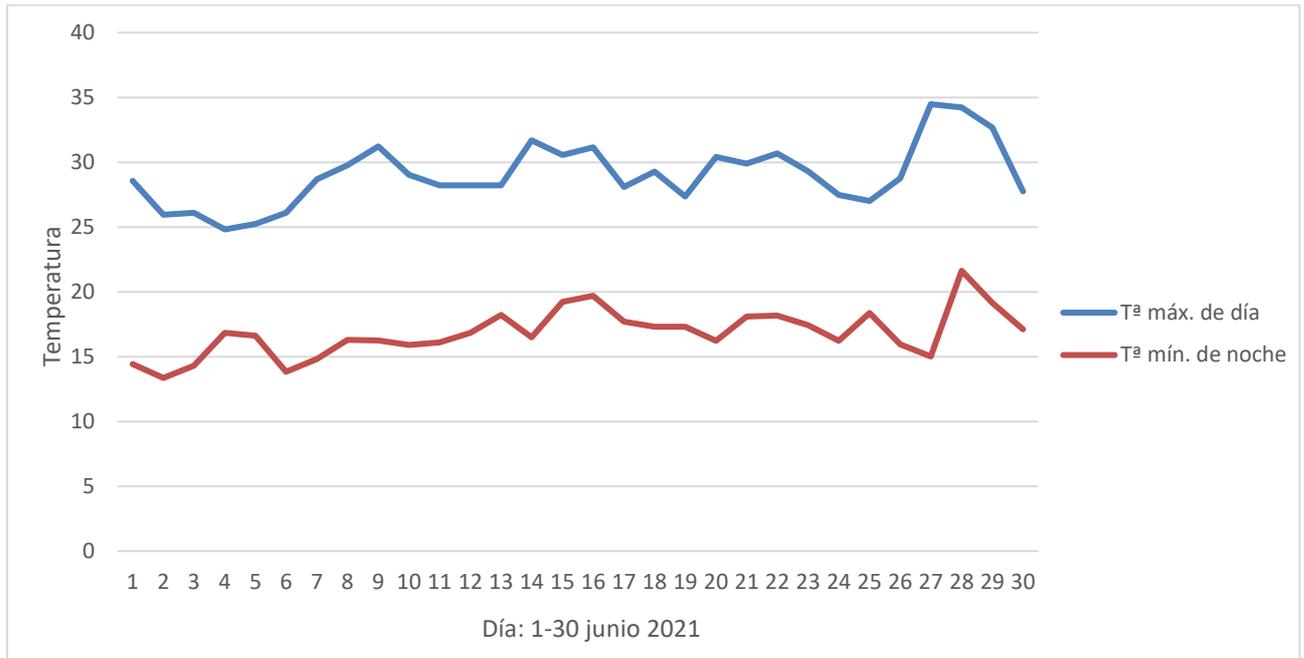


Figura 5-4. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Málaga

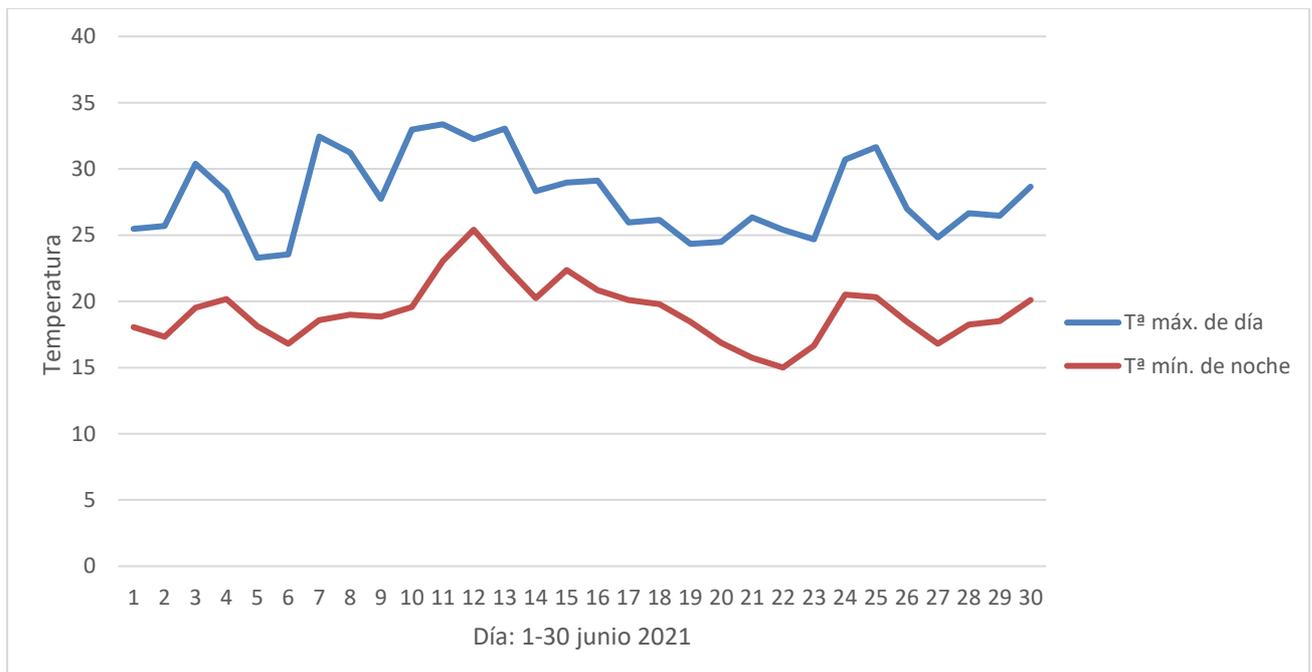


Figura 5-5. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Almería

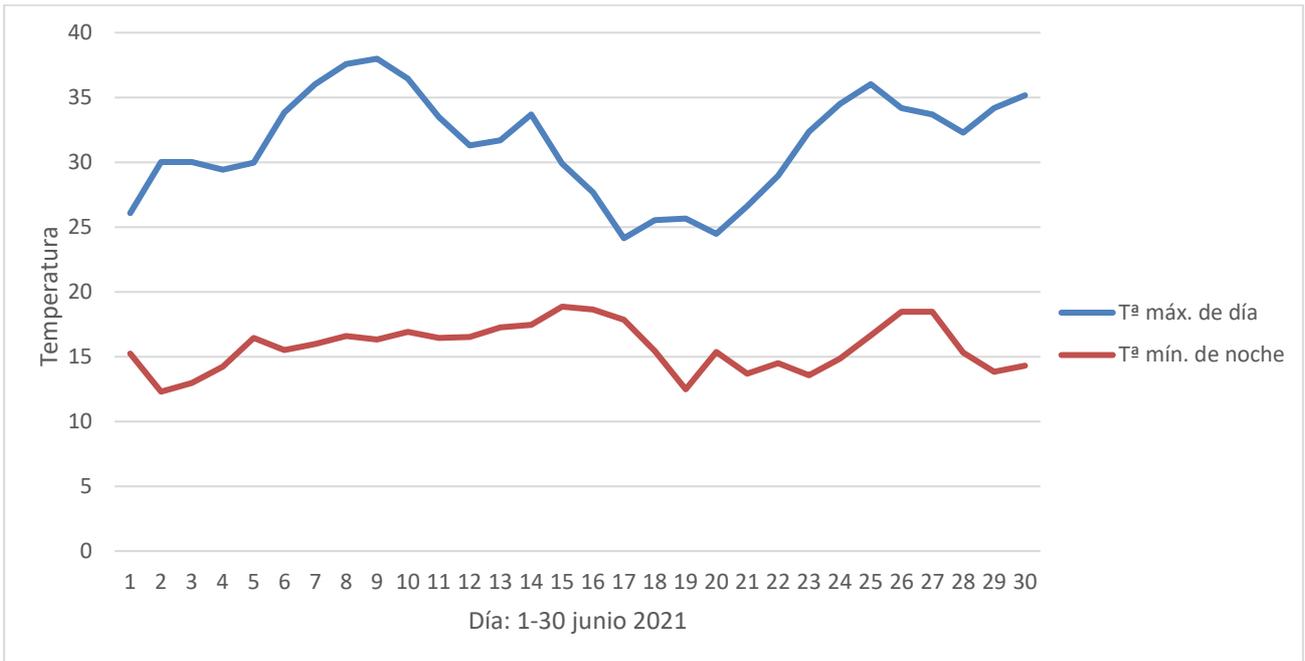


Figura 5-6. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Sevilla

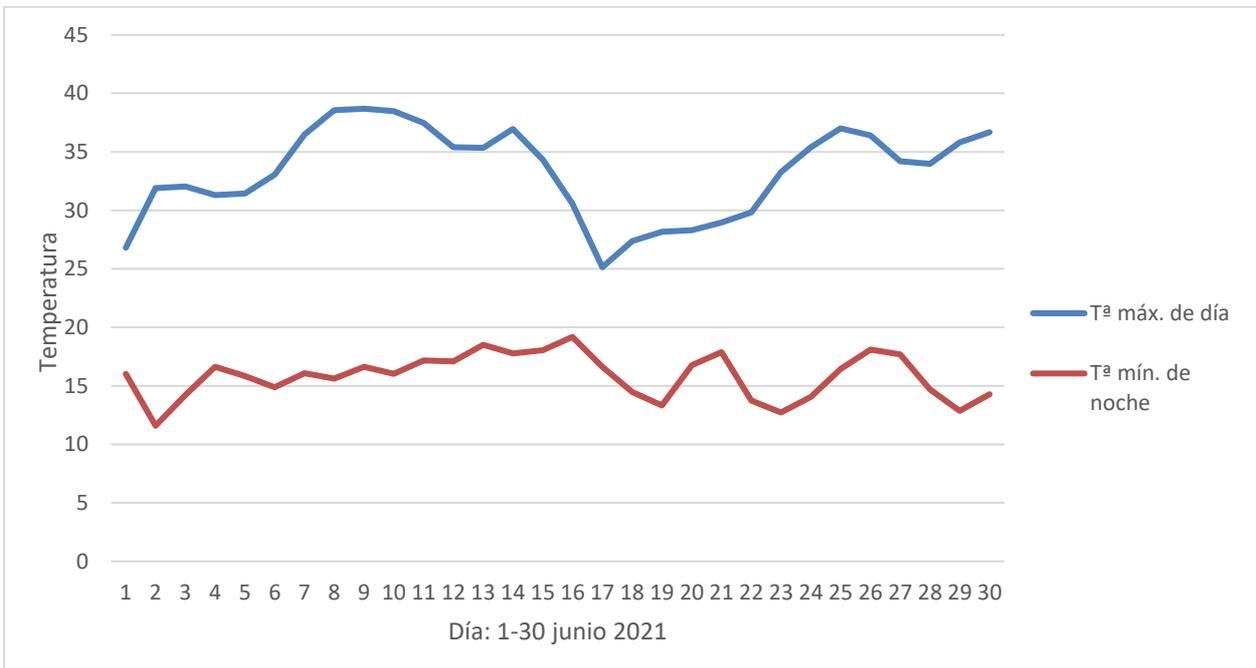


Figura 5-7. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Córdoba

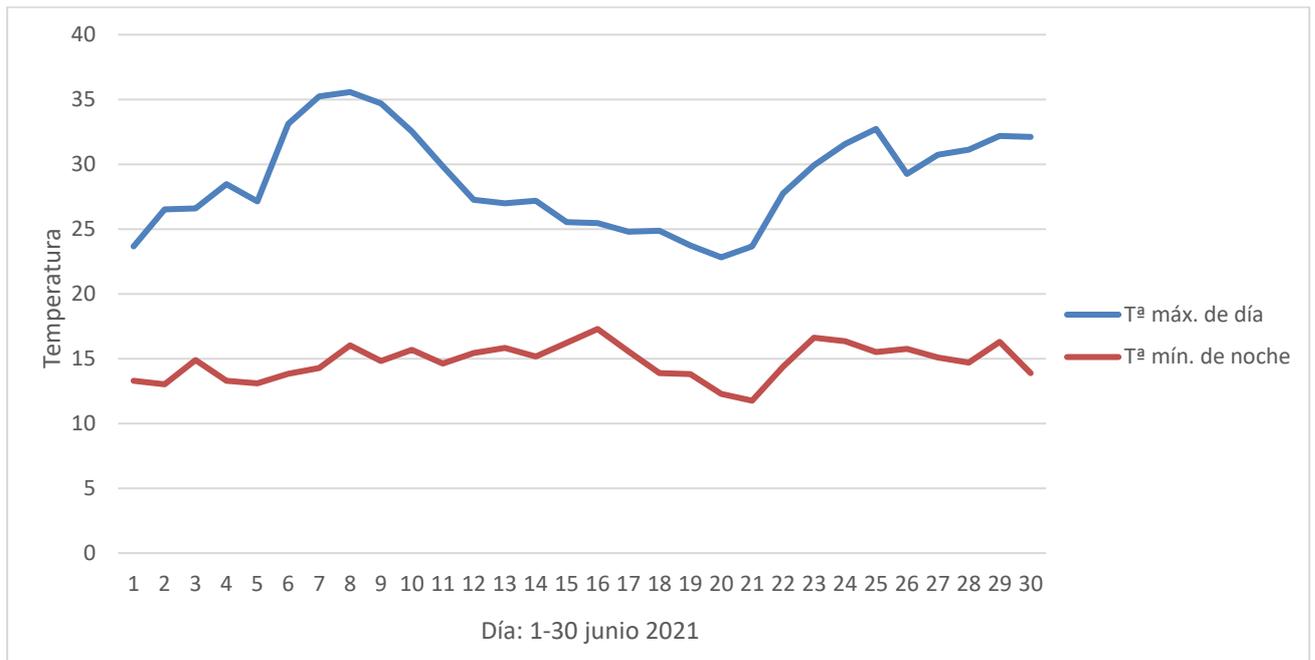


Figura 5-8. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Huelva

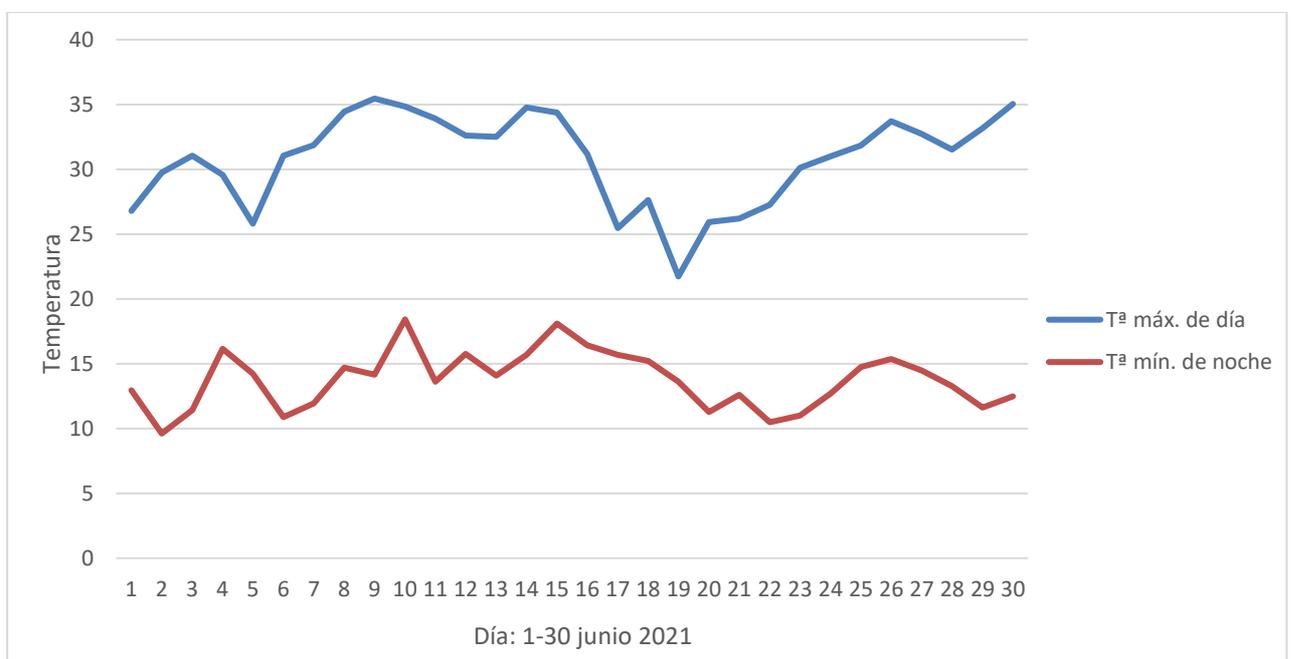


Figura 5-9. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Granada

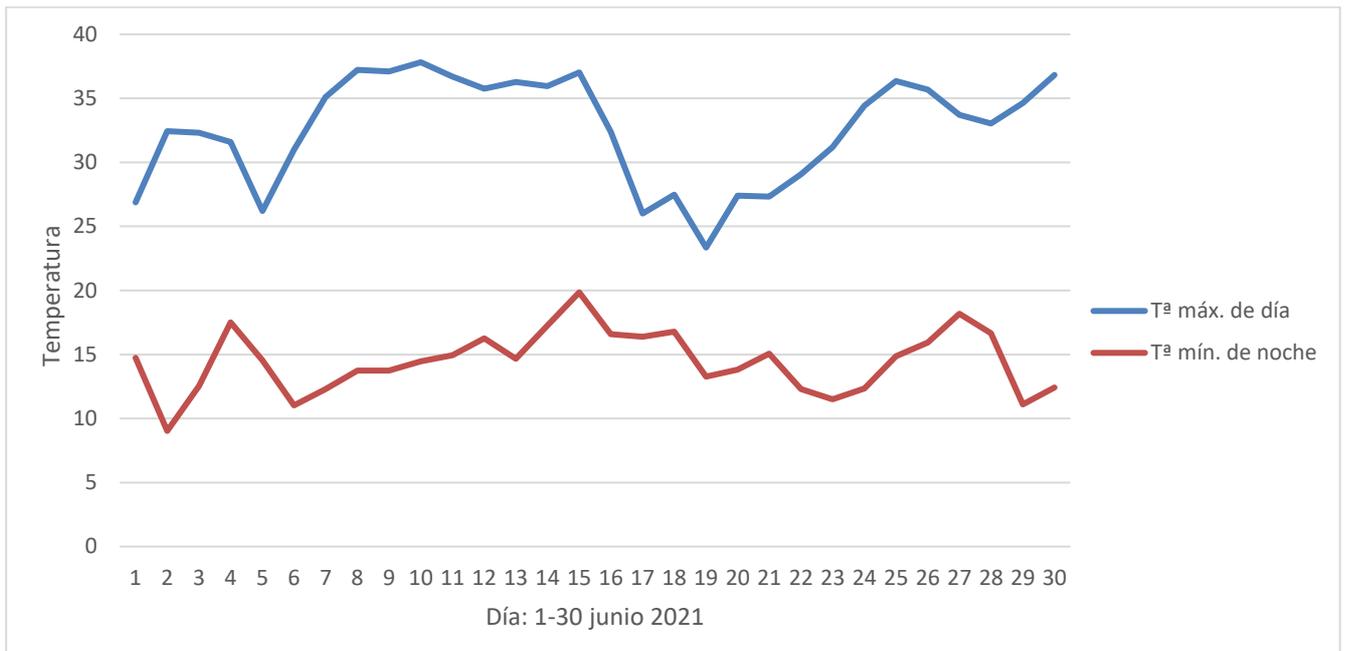


Figura 5-10. Variación diurna de temperatura. Junio 2021, Jaén

# 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 6.1 Resultados de la temperatura de excitación modificada

### 6.1.1 Zona climática B4

Para cada zona climática que estudiaremos, podemos ver las temperaturas de excitación obtenidas.

- Revestimiento reflectante:

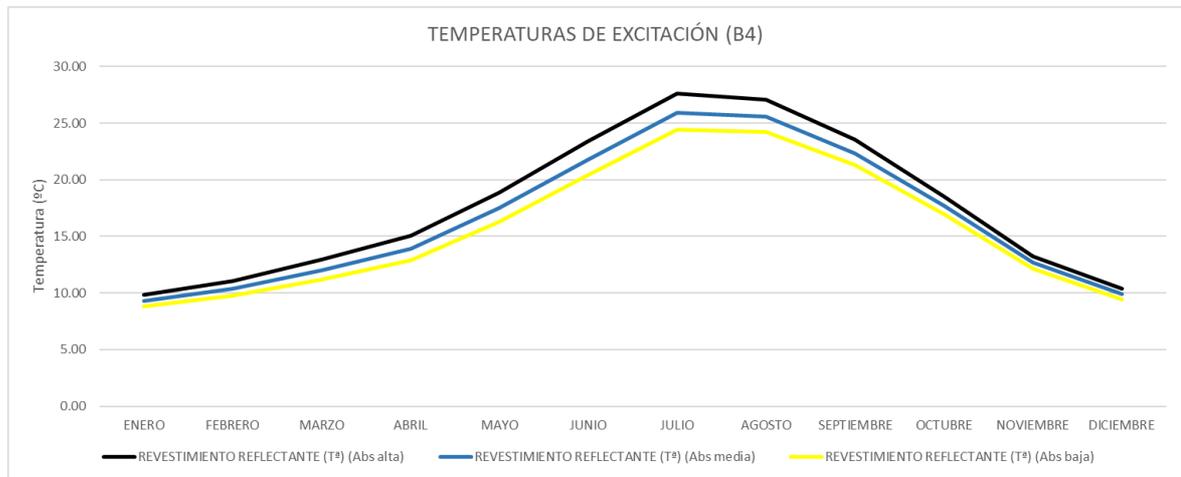


Figura 6-1. Evolución anual de las temperaturas de excitación en el revestimiento reflectante (B4)

Se puede ver que cuanto menor es la absorción de la pintura, menor temperatura tendrá la superficie. En base a los resultados se decide estudiar los casos más extremos para ver qué se podría conseguir.

- Techo verde:

Se puede ver representada en la siguiente gráfica la radiación solar a partir de la cual escogimos las horas de riego para uno de los casos estudiados. Para el análisis se representó la radiación directa y difusa del 1 de junio, 1 de julio y 1 de agosto.

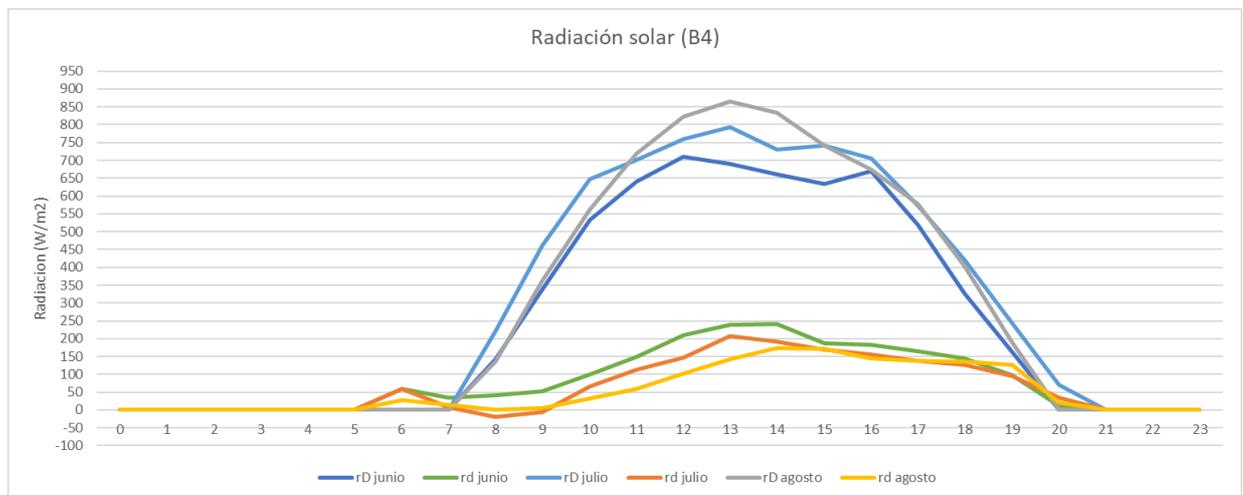


Figura 6-2. Evolución diaria de la radiación solar en tres días de verano (B4)

Como podemos observar, la mayor radiación solar se produce entre las 11 y las 16h, por ello es uno de los casos estudiados en la simulación.

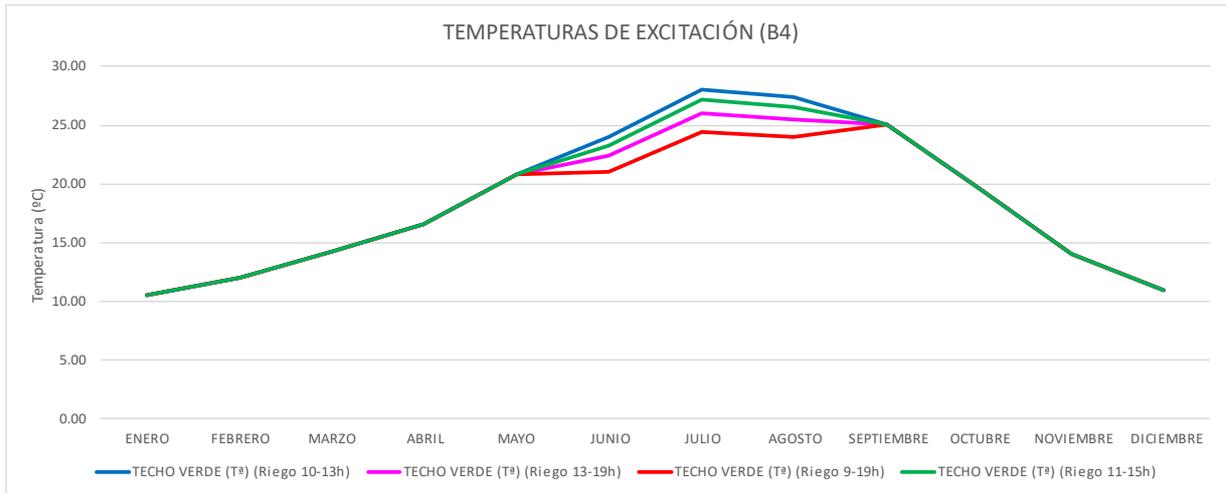


Figura 6-3. Evolución anual de la temperatura de excitación en diferentes horas de riego para techo verde (B4)

Se puede ver como cuánto más horas de riego, menor temperatura se alcanza. Pero también hay que tener en cuenta el consumo de agua, por tanto se estudian dos casos, el de riego de 9-19h y el riego solo en las horas de mayor radiación solar.

- Roof pond:

Tras el cálculo de la temperatura con un espesor de agua de 1 cm queda el siguiente resultado:

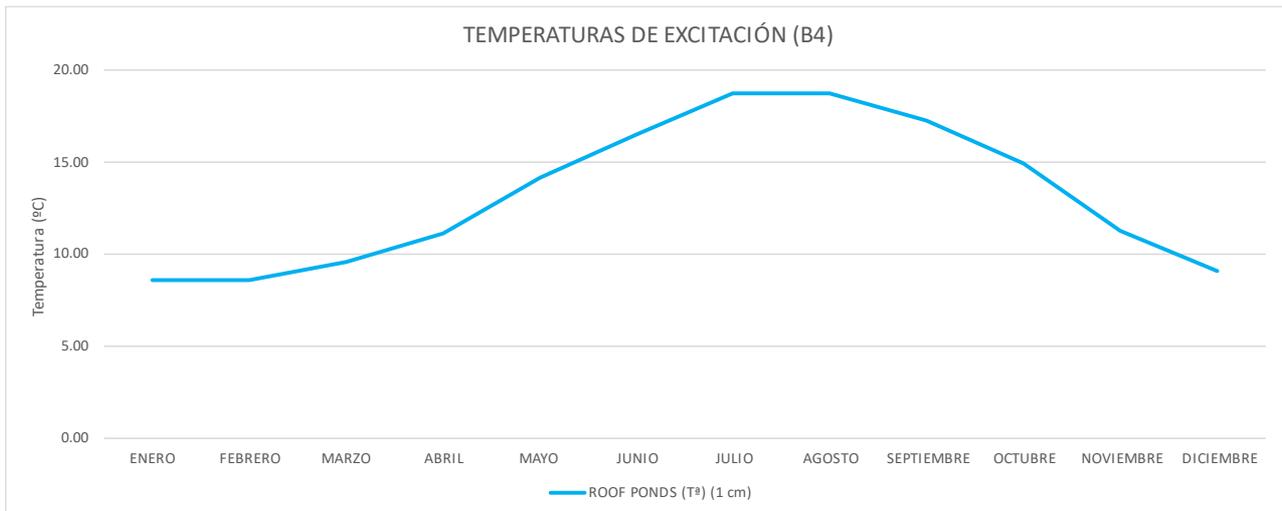


Figura 6-4. Evolución anual de la temperatura de excitación para el roof pond (B4)

Observamos que se alcanzan unas temperaturas notablemente menores en los meses de verano.

- Como se especificó anteriormente, de todos los casos solo se realizará simulación de los siguientes:
  - Revestimiento reflectante con absorptividad alta (0,3).
  - Revestimiento reflectante con absorptividad baja (0,021).
  - Techo verde con riego desde 9h hasta las 20h.
  - Techo verde con riego desde las 11 hasta las 16h.
  - Roof pond

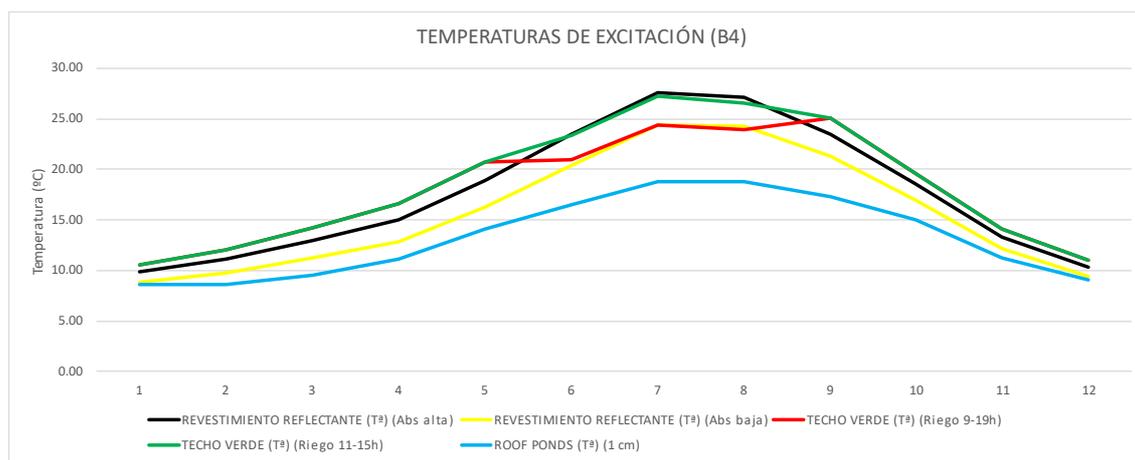


Figura 6-5. Evolución anual de la temperatura de excitación en la zona climática B4

Observamos como la solución del roof pond es la que consigue disminuir más la temperatura en verano. En los casos de revestimiento reflectante y techo verde, la temperatura promedio en verano es parecida para los casos más favorables de ambas soluciones (mayor riego en techo verde y menor absorptividad en revestimiento reflectante). De la misma forma ocurre con sus casos más desfavorables.

### 6.1.2 Zona climática A3

- Revestimiento reflectante:

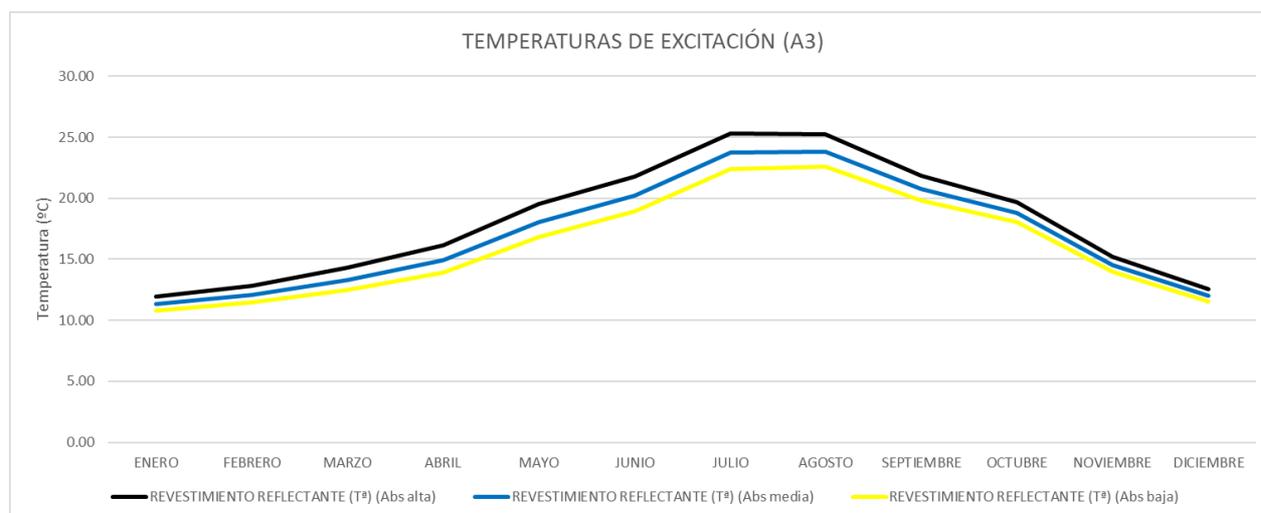


Figura 6-6. Evolución anual de las temperaturas de excitación en el revestimiento reflectante (A3)

En este caso la diferencia entre usar una pintura con mayor o menor absorptancia se mantiene, aunque las temperaturas obtenidas en verano son más bajas en este clima.

- Techo verde:

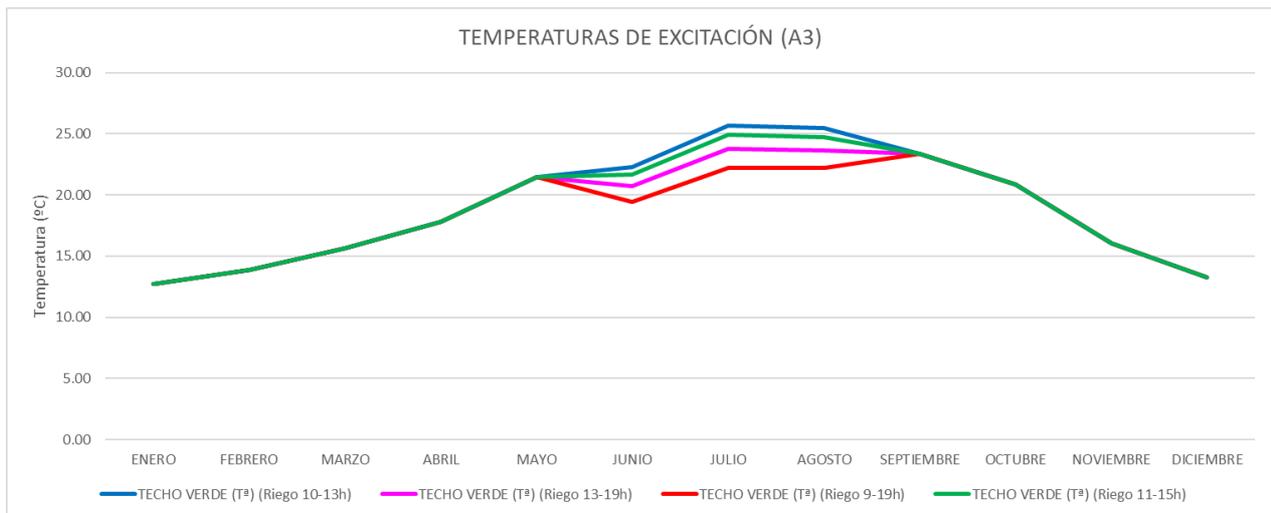


Figura 6-7. Evolución anual de la temperatura de excitación en diferentes horas de riego para techo verde (A3)

En este caso sí hay variación en la evolución de la curva de temperatura respecto a la zona B4, y de igual forma las temperaturas alcanzadas son menores en verano.

- Roof pond:

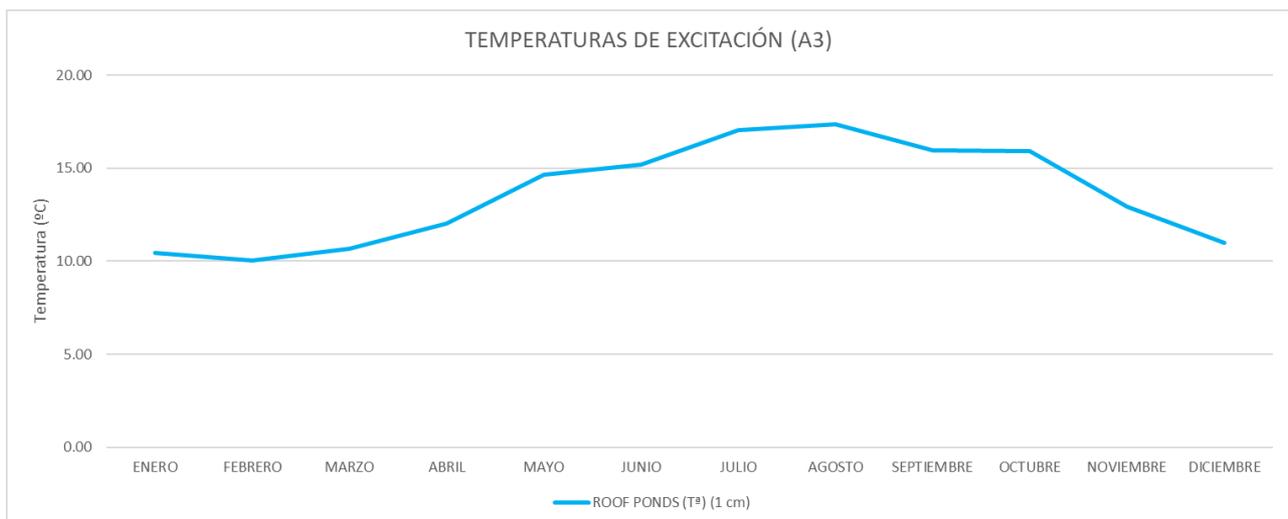


Figura 6-8. Evolución anual de la temperatura de excitación para el roof pond (A3)

Al igual que en el caso de techos verdes, la evolución de la temperatura se ve modificada con respecto a la zona B4, cuya gráfica tenía forma de campana. Al igual que el resto, las temperaturas en verano son menores.

- Casos simulados:

- Revestimiento reflectante con absortividad alta.
- Revestimiento reflectante con absortividad baja.
- Techo verde con riego desde 9h hasta las 20h.
- Techo verde con riego desde las 11 hasta las 16h.
- Roof pond

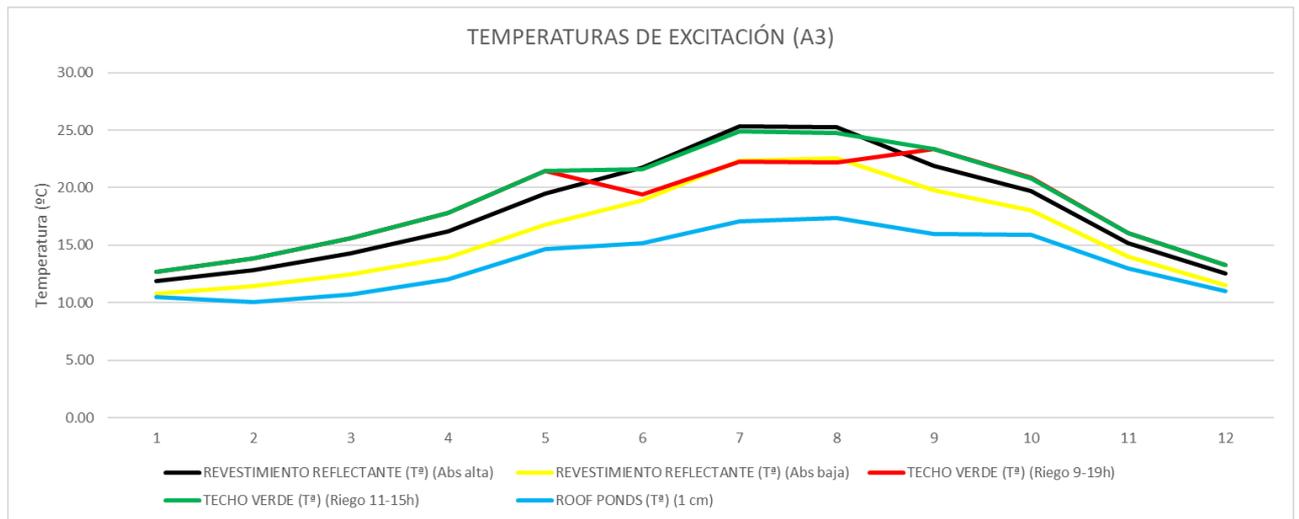


Figura 6-9. Evolución anual de la temperatura de excitación en la zona climática A3

El resultado al comparar los casos es similar al obtenido en la zona B4, solo que con temperaturas menores.

### 6.1.3 Valores numéricos

A continuación podemos ver los resultados obtenidos con los que pudimos generar las anteriores gráfica

ZONA B4	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
REVESTIMIENTO REFLECTANTE (°C) (Abs alta)	9.86	11.09	12.98	15.06	18.89	23.42	27.59	27.09	23.52	18.52	13.26	10.36
REVESTIMIENTO REFLECTANTE (°C) (Abs media)	9.32	10.37	12.03	13.88	17.48	21.81	25.89	25.56	22.34	17.70	12.67	9.88
REVESTIMIENTO REFLECTANTE (°C) (Abs baja)	8.86	9.76	11.21	12.87	16.27	20.43	24.42	24.24	21.34	16.99	12.16	9.47
TECHO VERDE (°C)(Riego 10-13h)	10.57	12.04	14.24	16.62	20.77	23.97	27.98	27.36	25.08	19.62	14.05	11.00
TECHO VERDE (°C)(Riego 13-19h)	10.57	12.04	14.24	16.62	20.77	22.36	26.00	25.44	25.08	19.62	14.05	11.00
TECHO VERDE (°C) (Riego 9-19h)	10.57	12.04	14.24	16.62	20.77	21.00	24.37	23.94	25.08	19.62	14.05	11.00
TECHO VERDE (°C) (Riego 11-15h)	10.57	12.04	14.24	16.62	20.77	23.30	27.18	26.57	25.08	19.60	14.05	11.00
ROOF PONDS (°C) (1 cm)	8.62	8.57	9.58	11.13	14.14	16.52	18.75	18.78	17.28	14.96	11.26	9.05

ZONA A3	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
REVESTIMIENTO REFLECTANTE (°C) (Abs alta)	11.92	12.86	14.30	16.17	19.52	21.75	25.32	25.25	21.88	19.68	15.17	12.54
REVESTIMIENTO REFLECTANTE (°C) (Abs media)	11.33	12.10	13.31	14.95	18.06	20.22	23.73	23.82	20.75	18.80	14.53	12.00
REVESTIMIENTO REFLECTANTE (°C) (Abs baja)	10.82	11.44	12.46	13.91	16.80	18.90	22.36	22.59	19.78	18.04	13.98	11.54
TECHO VERDE (°C)(Riego 10-13h)	12.70	13.87	15.62	17.79	21.48	22.29	25.66	25.47	23.38	20.85	16.03	13.25
TECHO VERDE (°C)(Riego 13-19h)	12.70	13.87	15.62	17.79	21.48	20.71	23.79	23.64	23.38	20.85	16.03	13.25
TECHO VERDE (°C) (Riego 9-19h)	12.70	13.87	15.62	17.79	21.48	19.42	22.24	22.19	23.38	20.85	16.03	13.25
TECHO VERDE (°C) (Riego 11-15h)	12.70	13.87	15.62	17.79	21.48	21.64	24.91	24.72	23.38	20.83	16.03	13.25
ROOF PONDS (°C) (1 cm)	10.47	10.06	10.69	12.03	14.65	15.18	17.05	17.38	15.98	15.91	12.95	10.99

Tabla 6-1. Valores de temperatura tras la implantación de los diferentes casos



## 6.2 Resultados de la simulación

### 6.2.1 Vivienda aislada sur, B4

El estudio comienza con la vivienda aislada sur para el clima B4. A continuación, vemos representada la refrigeración mensual (kWh/m<sup>2</sup>) que necesitaría el edificio en cada caso.

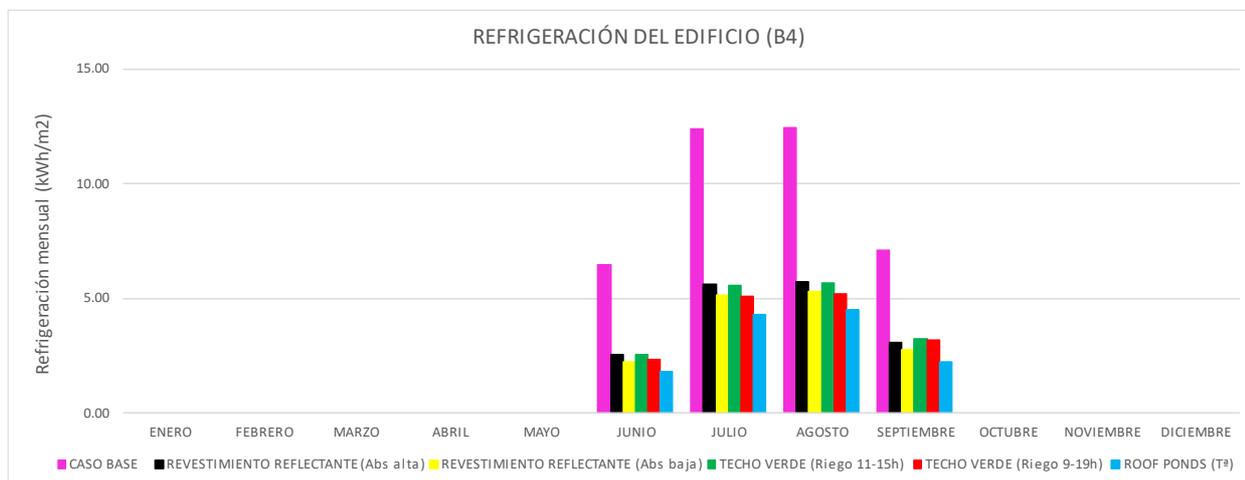


Figura 6-10. Evolución anual de la demanda de refrigeración

Con los valores de refrigeración anual para cada caso obtenemos el % que se ha reducido tras la implantación de las distintas soluciones:

	REFRIGERACIÓN ANUAL (kWh/m <sup>2</sup> edificio)	REDUCCIÓN
<b>CASO BASE</b>	38.385	
<b>REVESTIMIENTO REFLECTANTE (Abs alta)</b>	16.9414	56%
<b>REVESTIMIENTO REFLECTANTE (Abs baja)</b>	15.422307	60%
<b>TECHO VERDE (Riego 9-19h)</b>	15.831604	59%
<b>TECHO VERDE (Riego 11-15h)</b>	17.017141	56%
<b>ROOF PONDS</b>	12.88284	66%

Tabla 6-2. Reducción en la demanda anual de refrigeración

Con la información mostrada podemos observar como la mayor reducción que podemos obtener es de un 66% y la menor un 56%, son valores significativos.

### 6.2.2 Vivienda pareada este, A3

El siguiente caso estudiado es el de la vivienda pareada este en la zona climática A3. A continuación, vemos representada la refrigeración mensual (kWh/m<sup>2</sup>) que necesitaría el edificio en cada caso.

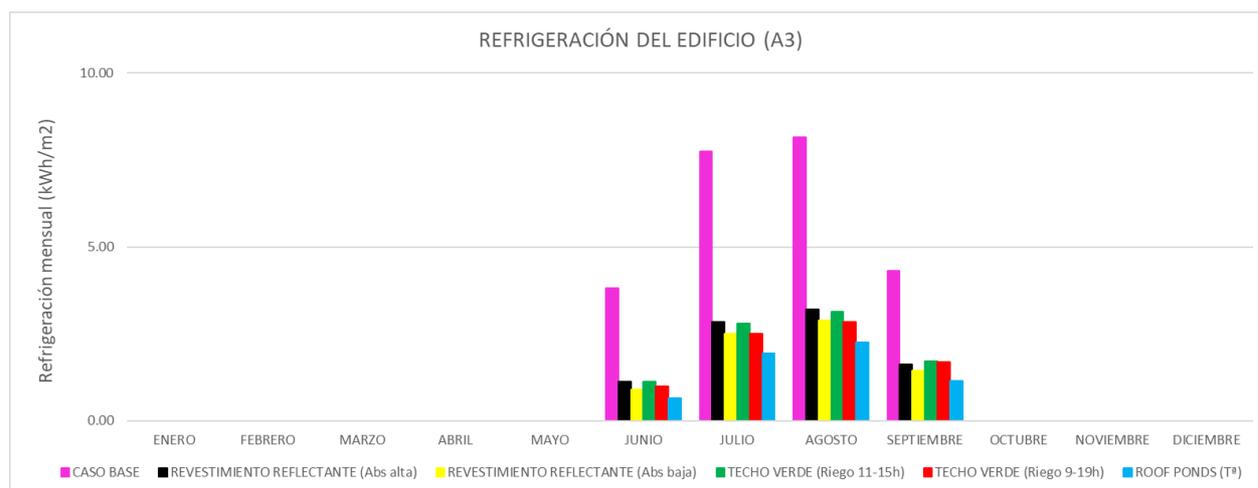


Figura 6-11. Evolución anual de la demanda de refrigeración

Al igual que en el caso anterior, con los valores de refrigeración anual para cada caso obtenemos el % que se ha reducido tras la implantación de las distintas soluciones:

	REFRIGERACIÓN ANUAL (kWh/m <sup>2</sup> edificio)	REDUCCIÓN
<b>CASO BASE</b>	24.040	
<b>REVESTIMIENTO REFLECTANTE (Abs alta)</b>	8.7874	63%
<b>REVESTIMIENTO REFLECTANTE (Abs baja)</b>	7.710582	68%
<b>TECHO VERDE (Riego 9-19h)</b>	7.987362	67%
<b>TECHO VERDE (Riego 11-15h)</b>	8.791451	63%
<b>ROOF PONDS</b>	6.003949	75%

Tabla 6-3. Reducción en la demanda anual de refrigeración

En este caso la demanda de refrigeración del caso base es menor, pero se ha conseguido un porcentaje de reducción mayor. Pudiéndose obtener hasta un 75% con el roof pond y un 63% como mínimo.

### 6.2.3 Vivienda entremedianeras sur, A3

El último estudio se hace con la vivienda entremedianeras sur para el clima A3. Vemos representada la demanda de refrigeración mensual (kWh/m<sup>2</sup>) que necesitaría el edificio para cada solución.

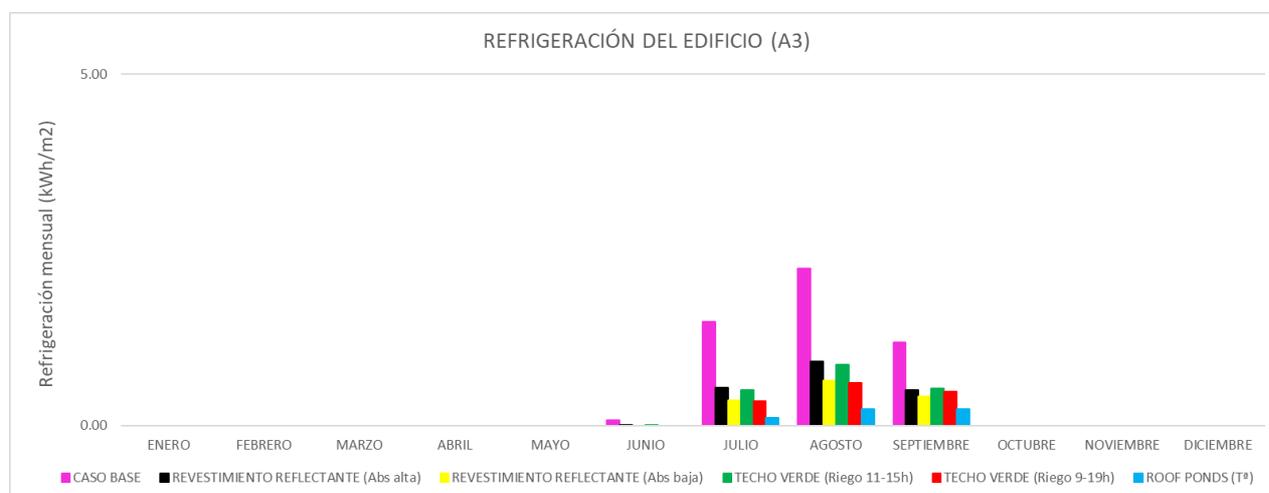


Figura 6-12. Evolución anual de la demanda de refrigeración

Al analizar los resultados vemos como la demanda de refrigeración anual obtenida de este edificio es muy baja.

Al salir menor de 15 kWh/m<sup>2</sup> no saldría rentable la implantación de una de estas soluciones, ya que el coste sería mayor que el beneficio.

<b>REFRIGERACIÓN ANUAL</b> (kWh/m <sup>2</sup> edificio)	<b>CASO BASE</b>
	4.968

### 6.3 Coste de la implantación de las soluciones

La finalidad de este apartado es tener una referencia del coste de inversión para evaluar la rentabilidad. Están excluidos de estos precios los portes de transporte de material y medidas de seguridad para la instalación (líneas de vida/accesos a cubiertas).

#### 6.3.1 Pintura reflectante

Para la pintura reflectante se obtienen precios de la empresa Enercool. [50] En la siguiente tabla podemos ver los precios para comprar el producto necesario en un techo liso en función de los m<sup>2</sup> de la superficie:

m <sup>2</sup>	€
10	199.00 €
20	399.00 €
30	514.00 €
40	599.00 €
50	709.00 €
60	909.00 €
70	999.00 €
80	1,109.00 €
90	1,305.00 €
100	1,409.00 €

Tabla 6-4. Precios de pintura por m<sup>2</sup> de superficie

Se han simulado dos viviendas, primero la aislada sur que cuenta con una superficie de 54.22 m<sup>2</sup> y la pareada este con 46.72 m<sup>2</sup>, interpolando obtenemos los precios para cada una. Aseguran que esta pintura tiene una vida mínima de 10 años y que sería amortizado en unos 4 años.

Al coste de la pintura, hay que añadir el de mano de obra. El techo debe ser previamente limpiado con una imprimación y después necesita dos manos de pintura reflectante mediante rodillo y pistola airless. Este precio aproximado se obtiene de la empresa pinturas JUYMA, valorando este trabajo a 5 EUR/m<sup>2</sup> aproximadamente.

	m <sup>2</sup>	Precio pintura	Mano de obra	Total (SIN IVA)
AISLADA SUR	54.55	809 €	273 €	<b>1,082 €</b>
PAREADA ESTE	46.75	707 €	234 €	<b>941 €</b>

Tabla 6-5. Coste de la implantación de pintura reflectante en las viviendas simuladas.

Es importante tener en cuenta que, tanto estos precios como los siguientes que se mostrarán, son solo una guía general y pueden variar significativamente según la región y el proveedor.

#### 6.3.2 Techos verdes

La información para esta solución viene de la empresa Ingeniería de cubiertas verdes. [51] Se obtiene precio por metro cuadrado para el techo verde que más se instala siendo también el más económico: techo extensivo con 10 cm de sustrato.

Para la instalación hay que realizar el izado del material, este coste es muy variable dependiendo de la altura del edificio y de la ubicación, ya que puede requerir un corte de calle. Para nuestro caso se supone que será posible el izado con un camión grúa y queda excluido el corte de calle. También queda excluido el coste de

mantenimiento, que en el caso del techo extensivo sería bastante bajo y del transporte de material.

Tipo extensivo	m2	EUR/m2 (material)	Izado de material	Total (SIN IVA)
AISLADA SUR	54.55	128 €	200.00 €	<b>7,154.87 €</b>
PAREADA ESTE	46.75	128 €	200.00 €	<b>6,160.63 €</b>

Tabla 6-6. Coste de la implantación del techo verde en las viviendas simuladas

El instituto Fraunhofer ha calculado la durabilidad de una cubierta verde en más de 40 años. [52]

### 6.3.3 Roof ponds

Para este caso es más difícil encontrar precios, por tanto presentamos unos valores orientativos. Para el material el coste puede ser entre 50-150 EUR/m<sup>2</sup>. Esta variación depende del tamaño, la complejidad del diseño y los materiales utilizados. El coste de instalación y mantenimiento puede variar dependiendo del tamaño, la complejidad del diseño y la ubicación geográfica del proyecto. En general, el coste de instalación puede oscilar entre el 30% y el 50% del coste total, dependiendo de la dificultad y el alcance del trabajo requerido. Para el izado de material y transporte se supone lo mismo que en el techo verde.

	m2	Material EUR/m2	Instalación	Izado de material	Total (SIN IVA)
AISLADA SUR	54.55	130 €	4,727 €	200.00 €	<b>11,818 €</b>
PAREADA ESTE	46.75	130 €	4,052 €	200.00 €	<b>10,129 €</b>

Tabla 6-7. Coste de la implantación del roof pond en las viviendas simuladas

Debido a que es una tecnología relativamente nueva y en constante evolución, no hay una referencia precisa que indique la vida útil. Si se construye y mantiene adecuadamente, además de utilizar materiales de calidad, se puede predecir que esta instalación tendría una vida útil de al menos 20 años.

## 7 CONCLUSIONES

---

Para trasladar a la realidad algunos de los resultados obtenidos, se ha analizado una vivienda con un consumo de 4.335 kWh/año. El impacto de disminuir un 75 % de la demanda en los meses de verano con la implantación del roof pond (siendo el máximo obtenido) y un 56% para el revestimiento reflectante con alta absortividad (siendo el mínimo obtenido), nos hace oscilar en una disminución de 110-150 euros al año en la factura de la luz, como podemos ver más en detalle en el Anexo B. Es cierto que en comparación con los costes de implantación que mostramos anteriormente, hablamos de un pay-back de bastantes años para el particular que decide realizar la instalación. Sin embargo, debido a la preocupación a nivel internacional por este tema, existen ayudas que hacen mucho más rentables la implantación de estas técnicas. En concreto en Andalucía existe el Plan Eco Vivienda: Programa de ayudas a la mejora de la eficiencia energética en viviendas. Estas subvenciones se aplican para actuaciones que reduzcan el consumo de energía primaria no renovable de al menos el 30% o reducción de la demanda energética anual global de calefacción y refrigeración de al menos 7%; si la inversión es de al menos 1.000 euros puedes obtener un 40% del coste de la actuación hasta un máximo de 3.000 euros. [53] Esta información hace que la técnica del revestimiento reflectante y techo verde se vuelvan más accesibles, sobre todo teniendo en cuenta que en los techos verdes la vida útil es muy larga, por tanto, se espera que haya rentabilidad con el tiempo.

Por otro lado, no hay que olvidar los beneficios adicionales que aportan los techos verdes mencionados al inicio del presente trabajo, destacando la mejora de la calidad del aire. En referente al roof pond, es la técnica con mejores resultados pero también la más cara. Existen en Andalucía subvenciones para almacenamiento de energía de hasta un 65% para pequeñas empresas sin límite máximo de dinero, [54] cuando quizás no sea la mejor opción a día de hoy con respecto al coste/beneficio salvo casos puntuales. Pienso que se debería invertir en estudiar continuamente técnicas que tengan potencial de resultar beneficiosas para la reducción del consumo de energía, valorando también si aportan más cosas a la sociedad. No creo que sea necesario llegar al punto de la propuesta de Italia, que en 2022 llevó a cabo una iniciativa conocida como Superbonus 110% en la que te devuelven el 110% de los gastos incurridos en medidas de eficiencia energética. [55] No es difícil deducir que algo así puede acabar haciendo más daño que beneficio, además de que estas mejoras generalmente se acaban rentabilizando, por lo que ambas partes, tanto el gobierno que debe fomentar estas medidas, como el particular que se beneficiará, están interesadas en obtener lo mismo. Hay que buscar el equilibrio como se ha hecho por ejemplo para las instalaciones fotovoltaicas, pero siendo necesario dar un paso más mirando nuevas opciones, mejorando las existentes e invirtiendo siempre en lo que más nos aporte. Porque es necesario priorizar nuestro futuro y cuidar el planeta, y teniendo en cuenta los valores de reducción de la demanda obtenidos en este trabajo, se demuestra que merece la pena invertir en investigación y desarrollo de este tipo de técnicas, así como seguir ofreciendo ayudas para las más beneficiosas.

# BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] «El economista,» 14 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://eleconomista.com.ar/energia/segun-aie-escalada-precios-globales-energia-podria-continuar-3-anos-mas-n49773>. [Último acceso: Febrero 2022].
- [2] «Boletín oficial del estado,» 6 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2020/08/06/pdfs/BOE-A-2020-9273.pdf#page=2>.
- [3] «Unión Europea,» 2019. [En línea]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32019H0786>. [Último acceso: febrero 2022].
- [4] L. Yang, F. Qian, D.-X. Song y K.-J. Zheng, «Research on urban heat island effect,» [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816332039>.
- [5] «Arquitectura bioclimática, las construcciones que respetan el medio ambiente,» [En línea]. Available: <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-arquitectura-bioclimatica>.
- [6] O. Barranco Arévalo, «La arquitectura bioclimática,» Módulo Arquitectura CUC, 2015.
- [7] «La Comisión Europea presenta una revisión de la directiva sobre el rendimiento energético de edificios,» 16 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.eseficiencia.es/2021/12/16/la-comision-europea-presenta-una-revision-de-la-directiva-sobre-el-rendimiento-energetico-de-los-edificios>. [Último acceso: Febrero 2022].
- [8] Comisión Europea, «Eficiencia energética: Revisión de la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios,» [En línea]. Available: [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12910-Eficiencia-energetica-Revision-de-la-Directiva-relativa-a-la-eficiencia-energetica-de-los-edificios\\_es](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12910-Eficiencia-energetica-Revision-de-la-Directiva-relativa-a-la-eficiencia-energetica-de-los-edificios_es).
- [9] Comisión Europea, «Oleada de renovación: duplicar la tasa de renovación para reducir las emisiones, impulsar la recuperación y disminuir la pobreza energética,» 2020. [En línea]. Available: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip\\_20\\_1835](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_1835).
- [10] Comité Económico y Social Europeo, «Revisión de la Directiva de eficiencia energética,» [En línea]. Available: <https://www.ccoo.es/18ad4c76ec20c8aed0d94d2d20a17936000001.pdf>.
- [11] «Fundación laboral de la construcción,» 15 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.fundacionlaboral.org/actualidad/noticias/sector/el-gobierno-moviliza-1631-millones-de-los-fondos-europeos-para-la-rehabilitacion-energetica-de-viviendas>.
- [12] «Afelma,» 25 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://afelma.org/el-impulso-de-los-fondos-europeos-en-la-rehabilitacion-de-viviendas-en-espana-centra-un-encuentro-organizado-por-afelma-2/>.
- [13] M. Santamouris, K. Niachou, D. Kolokotsa, K. Pavlou y A. Synnefa, «Recent progress on passive cooling techniques: Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households,» 2007. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.02.008>.
- [14] M. Guerrero Delgado, J. Sánchez Ramos, T. R. Palomo Amores, D. Castro Medina y S. Álvarez

- ] Domínguez, «Improving habitability in social housing through passive cooling: a case study in Mengíbar (Jaén, Spain),» Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103642>.
- [15 M. p. l. T. Ecológica, «Estrategia nacional contra la pobreza energética 2019-2024,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica\\_tcm30-502982.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-pobreza-energetica/estrategianacionalcontralapobrezaenergetica_tcm30-502982.pdf).
- [16 Naciones unidas, «Objetivos de desarrollo sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>.
- [17 Naciones unidas, «Objetivos de desarrollo sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>.
- [18 Junta de Castilla y León, «OLA DE RENOVACIÓN EN EDIFICIOS: DUPLICAR LA TASA DE RENOVACIÓN PARA REDUCIR LAS EMISIONES, IMPULSAR LA RECUPERACIÓN Y DISMINUIR LA POBREZA ENERGÉTICA,» [En línea]. Available: <https://eucyl.jcyl.es/web/jcyl/Eucyl/es/Plantilla100Detalle/1277999678552/Noticia/1284993280172/Comunicacion>.
- [19 «Boletín oficial del estado,» Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/boe/dias/2021/03/31/pdfs/BOE-A-2021-5106.pdf>.
- [20 M. Rawat y R. Singh, «A study on the comparative review of cool roof thermal performance in various regions,» 2021. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.03.001>.
- [21 «European cool roofs council,» [En línea]. Available: <https://coolroofcouncil.eu/rating-programme/#section0>.
- [22 «Cool Roof Rating Council (CRRC),» [En línea]. Available: <https://www.alliancerooftingcal.com/coolroofs>.
- [23 J. A. Porrás-Salazar y S. Contreras Espinoza, «Efecto de los revestimientos fríos sobre la temperatura superficial de las cubiertas en el clima cálido-húmedo,» *REVISTARQUIS 17*, vol. 9, nº 1, 2020.
- [24 «El universo,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2019/06/10/nota/7371057/que-tan-efectivos-son-techos-blancos-reducir-temperatura-edificios/>.
- [25 E. E. Ordoñez López y M. M. Pérez Sánchez, «Comparación del desempeño térmico de techos verdes y techos blancos mediante técnicas IR,» 16 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.15174/au.2015.782>.
- [26 A. B. Besir y E. Cuce, «Green roofs and facades: A comprehensive review,» Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>.
- [27 M. d. R. Valbuena, «Implementación de un modelo de techo verde y su beneficio térmico en un hogar de Honda, Tolima (Colombia),» 2012.
- [28 D. V. López Silva, «Comparación de plantas con diferente metabolismo en el desempeño térmico de techos verdes extensivos,» 2020. [En línea]. Available: [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3281/1/tesis\\_Diana%20Veronica%20Lope](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3281/1/tesis_Diana%20Veronica%20Lope)

z%20Silva\_02-agosto%202020.pdf.

- [29 D. C. M. Ávila, «Techos verdes como sistemas urbanos de drenaje sostenible,» Pontificia Universidad Javeriana, 2012.
- [30 L. Ikeda, «Shutterstock,» [En línea]. Available: <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/green-roof-paulo-brazil-650210254>.
- [31 A. Sharif y Y. Yamagata, «Roof ponds as passive heating and cooling systems: A systematic review,» Diciembre 2015. [En línea]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.061>.
- [32 S. E. R. Trejo, «Diseño y evaluación de un sistema de doble cubierta ventilada para reducir la transmisión de calor al interior de la vivienda media en Puerto Vallarta, Jalisco,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://148.206.79.158/handle/11191/5944>.
- [33 E. A. C. Salas, «Caracterización de sistemas de enfriamiento evaporativo indirecto en cubiertas para obtener confort higrotérmico en edificaciones en climas cálido-húmedos,» Julio 2020. [En línea]. Available: [10.24275/uama.5761.7658](https://doi.org/10.24275/uama.5761.7658).
- [34 E. Vázquez, E. M. González Cruz y M. Elizondo Mata, «Roof pond as a passive cooling system of buildings: types and classification in hot climate,» 2013.
- [35 J. S. Ramos, «Análisis y seguimiento de la intervención de eficiencia energética de 150 viviendas en Mengíbar, la provincia de Jaén,» 2021.
- [36 F. Kéré, «Escuela primaria en Gando. Francis Kéré,» [En línea]. Available: <https://tectonica.archi/projects/escuela-primaria-en-gando/>.
- [37 J. A. Porras Salazar y S. Contreras Espinoza, «Efecto de los revestimientos fríos sobre la temperatura superficial de las cubiertas en el clima cálido-húmedo,» *Revistarquis*, vol. 9, nº 1, pp. 70-81, 2020.
- [38 Miller, Desjarlais, Parker y Kriner, «Cool metal roofing tested for energy efficiency and sustainability,» Julio 2004. [En línea]. Available: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20479173>.
- [39 Konopacki, Gartland, Akbari y Rainer, «Demonstration of energy savings of cool roofs,» 1998. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.2172/296885>.
- [40 X. Li, J. Peoples, P. Yao y X. Ruan, «Ultrawhite BaSO<sub>4</sub> paints and films for remarkable daytime subambient radiative cooling,» 2021. [En línea]. Available: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsami.1c02368>.
- [41 K. Getter, D. Bradley Rowe, J. Andresen y I. Wichman, «Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U.S. climate,» Diciembre 2011. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.018>.
- [42 Marinos Karteris, Ifigeneia Theodoridou, Giorgos Mallinis, Emmanouel Tsiros y Apostolos Karteris, «Towards a green sustainable strategy for Mediterranean cities: Assessing the benefits of large-scale green roofs implementation in Thessaloniki, Northern Greece, using environmental modelling, GIS and very high spatial resolution remote sensing data,» Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.11.098>.
- [43 Sahar N. Kharrufa y Yahyah Adil, «Roof pond cooling of buildings in hot arid climates,» Noviembre 2006.

- ] [En línea]. Available: doi:10.1016/j.buildenv.2006.11.034.
- [44 A. Castro y M. S. Juzefiszyn, *Instalaciones Eléctricas y Acústica; TEMA: LUMINOTECNIA*, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario, 2014.
- [45 R. Roca, «El periódico de la energía,» Abril 2021. [En línea]. Available: ] <https://elperiodicodelaenergia.com/crean-una-pintura-ultra-blanca-que-consigue-enfriar-los-edificios-mas-que-con-aire-acondicionado/>. [Último acceso: 2023].
- [46 J. Pike, «World's whitest paint now thinner than ever, ideal for vehicles,» Octubre 2022. [En línea]. ] Available: <https://www.purdue.edu/newsroom/releases/2022/Q4/worlds-whitest-paint-now-thinner-than-ever,-ideal-for-vehicles.html>. [Último acceso: 2023].
- [47 L. LÓPEZ ORTIZ, «ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LAS CUBIERTAS INUNDADAS,» ] Universidad politécnica de Valencia, 2018.
- [48 m. y. a. u. Ministerio de transportes, «Documento Básico HE, Ahorro de energía,» 2022. ]
- [49 «Zonas climáticas por provincias,» [En línea]. Available: [http://www.cteplus.es/files/RW-ES/CTE%20Plus/pdfs/CTEPLUS\\_Anexo2.pdf](http://www.cteplus.es/files/RW-ES/CTE%20Plus/pdfs/CTEPLUS_Anexo2.pdf). ]
- [50 «Enercool,» [En línea]. Available: <https://www.enercool.fr/peinture-blanche-cool-roof>. ]
- [51 «Ingeniería de cubiertas verdes,» [En línea]. Available: <https://ingenieriacv.es/quienes-somos/>. ]
- [52 S. Amézquita, «ADDGREEN PROJECT,» Septiembre 2021. [En línea]. Available: ] <https://addgreenproject.com/addgreen/f/beneficios-cubiertas-verde#:~:text=El%20instituto%20Fraunhofer%20ha%20calculado,de%20una%20cubierta%20negra%20convencional..>
- [53 a. d. t. y. v. Consejería de Fomento, 2022. [En línea]. Available: ] <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoarticulaciondelterritorioyvivienda/areas/vivienda-rehabilitacion/plan-eco-vivienda/paginas/plan-eco-viv-p4.html>.
- [54 c. d. i. e. y. m. Agencia andaluza de la energía. [En línea]. Available: ] <https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/ayudas-la-financiacion/incentivos-para-energias-renovables-en-autoconsumo-almacenamiento-y-termicas-sector-residencial#:~:text=La%20incorporaci%C3%B3n%20de%20almacenamiento%20se,como%20para%20las%20ya%20existen>.
- [55 I. S. 2. ORE, 2023. [En línea]. Available: [https://www.ilsole24ore.com/art/superbonus-meloni-e-costato-2mila-euro-ogni-italiano-ora-soluzioni-evitare-tracollo-aziende-AEKqOvpC?refresh\\_ce&nof](https://www.ilsole24ore.com/art/superbonus-meloni-e-costato-2mila-euro-ogni-italiano-ora-soluzioni-evitare-tracollo-aziende-AEKqOvpC?refresh_ce&nof). ]
- [56 «EPA,» 2021. [En línea]. Available: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/uso-de-techos-frios-para-reducir-las-islas-de-calor#ref-1>. ]
- [57 D. B. Rowe, K. L. Getter, J. A. Andresen y I. S. Wichman, «Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in a Midwestern U.S. climate,» Diciembre 2011. [En línea]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.018>.

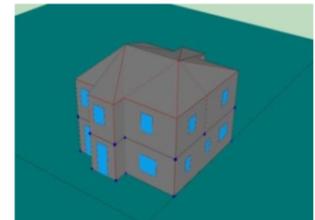
- [58 C. Echeverría, B. Z. Suarez Bustamante y J. Katherine, «Diagnóstico de estrategias para mitigar la isla de calor empleando pavimento pigmentado,» 13 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30421/2020brayancubides.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [59 E. commission, «Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast),» 15 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/annex-proposal-recast-energy-performance-of-buildings-directive.pdf>.

# ANEXO

## • ANEXO A

<b>AISLADA SUR (REFERENCE CASE)</b>	<b>ZONA CLIMÁTICA A3</b>
-------------------------------------	--------------------------

<b>Climate conditions</b>	Location	A3 Peninsular
	Heating degree-days	1238.7
	Cooling degree-days	489.3



<b>Internal gains</b>	Building utilization	residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources	4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)	27.4	36.3	36.3

<b>Building Geometry</b>	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	7.6x9x5.4	2	1.03	29	37	16	18	S

<b>Building Elements</b>	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)
	0.94	0.50	0.54	5.70	0.83	0.66	6.53

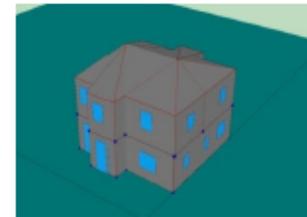
<b>Building systems</b>	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

<b>Building setpoints and schedules</b>	Set point temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

<b>Building energy needs and use</b>	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	36.3	24.3	16.7	65%	13.5	42.5	---	79.3

<b>AISLADA ESTE (REFERENCE CASE)</b>	<b>ZONA CLIMÁTICA A3</b>
--------------------------------------	--------------------------

<b>Climate conditions</b>	Location	A3 Peninsular
	Heating degree-days	1238.7
	Cooling degree-days	489.3



<b>Internal gains</b>	Building utilization			residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources			4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)			27.4	36.3	36.3

<b>Building Geometry</b>	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	7.6x9x5.4	2	1.03	16	18	37	29	E

<b>Building Elements</b>	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.94	0.50	0.54	5.70	0.83	0.66	6.53

<b>Building systems</b>	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

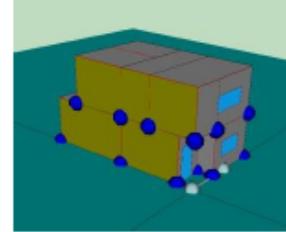
<b>Building setpoints and schedules</b>	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

<b>Building energy needs and use</b>	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	35.9	20.4	16.7	65%	11.3	42.1	---	73.7

## PAREADA SURESTE (REFERENCE CASE)

## ZONA CLIMÁTICA A3

Climate conditions	Location	A3 Peninsular
	Heating degree-days	1238.7
	Cooling degree-days	489.3



Internal gains	Building utilization		residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources		4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)		27.4	36.3	36.3

Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.77	31	55	14	--	SE

Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.94	0.50	0.54	4.65	0.80	0.64	6.53

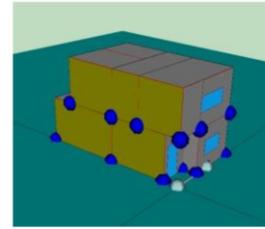
Building systems	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

Building setpoints and schedules	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	25.1	21.8	16.7	65%	12.1	31.3	---	63.5

**ENTRE MEDIANERAS SUR (REFERENCE CASE)****ZONA CLIMÁTICA A3**

<b>Climate conditions</b>	Location	A3 Peninsular
	Heating degree-days	1238.7
	Cooling degree-days	489.3



<b>Internal gains</b>	Building utilization			residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources			4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)			27.4	36.3	36.3

<b>Building Geometry</b>	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.59	36	64	--	--	S

<b>Building Elements</b>	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)
	0.94	0.50	0.54	5.70	0.83	0.66	6.53

<b>Building systems</b>	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

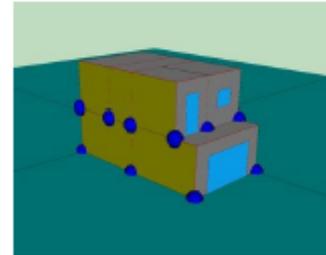
<b>Building setpoints and schedules</b>	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

<b>Building energy needs and use</b>	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	14.9	15.4	16.7	65%	8.6	21.1	---	43.7

## ENTRE MEDIANERAS ESTE (REFERENCE CASE)

## ZONA CLIMÁTICA A3

Climate conditions	Location	A3 Peninsular
	Heating degree-days	1238.7
	Cooling degree-days	489.3



Internal gains	Building utilization		residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources		4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)		27.4	36.3	36.3

Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.59	--	--	64	36	E

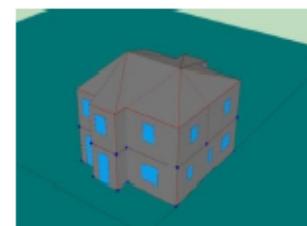
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)
	0.94	0.50	0.54	5.70	0.83	0.66	6.53

Building systems	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

Building setpoints and schedules	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	21.1	18.3	16.7	65%	10.2	27.3	---	54.4

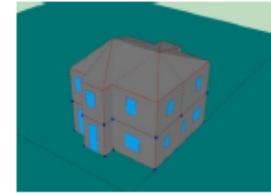
AISLADA SUR		(REFERENCE CASE)		ZONA CLIMÁTICA B4				
Climate conditions	Location		B4 Peninsular					
	Heating degree-days		1528.5					
	Cooling degree-days		636.8					
Internal gains	Building utilization						residential	
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60	
	Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	7.6x9x5.4	2	1.03	29	37	16	18	S
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.82	0.45	0.52	5.70	0.83	0.66	6.53	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	51.9	36.6	16.7	65%	20.3	58.1	---	112.8



## AISLADA ESTE (REFERENCE CASE)

## ZONA CLIMÁTICA B4

Climate conditions	Location	B4 Peninsular
	Heating degree-days	1528.5
	Cooling degree-days	636.8



Internal gains	Building utilization		residential			
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources					4.60
	Occupants / lighting / equipment (%)			27.4	36.3	36.3

Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	7.6x9x5.4	2	1.03	29	37	16	18	S

Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.82	0.45	0.52	5.70	0.83	0.66	6.53

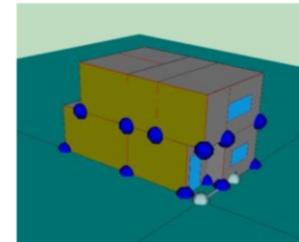
Building systems	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

Building setpoints and schedules	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	53.8	31.4	16.7	65%	17.4	60	---	108.1

**PAREADA SURESTE (REFERENCE CASE)****ZONA CLIMÁTICA B4**

<b>Climate conditions</b>	Location	B4 Peninsular
	Heating degree-days	1528.5
	Cooling degree-days	636.8



<b>Internal gains</b>	Building utilization		residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources		4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)		27.4	36.3	36.3

<b>Building Geometry</b>	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.77	31	55	14	--	SE

<b>Building Elements</b>	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)
	0.82	0.45	0.52	4.65	0.80	0.64	6.53

<b>Building systems</b>	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

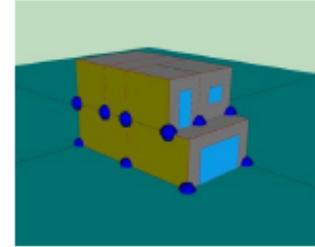
<b>Building setpoints and schedules</b>	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

<b>Building energy needs and use</b>	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	38.6	32.9	16.7	65%	18.3	44.8	---	93.1

## ENTRE MEDIANERAS SUR (REFERENCE CASE)

## ZONA CLIMÁTICA B4

Climate conditions	Location	B4 Peninsular
	Heating degree-days	1528.5
	Cooling degree-days	636.8



Internal gains	Building utilization	residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources	4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)	27.4	36.3	36.3

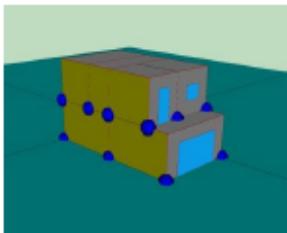
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6			2	0.55	36	64	

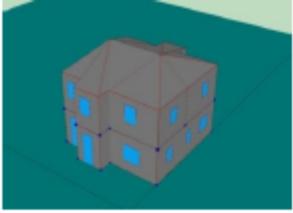
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)
	0.82	0.45	0.52	5.70	0.83	0.66	6.53

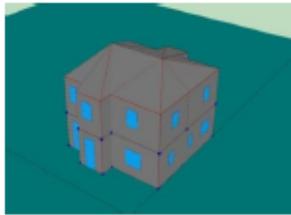
Building systems	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

Building setpoints and schedules	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	26	24.3	16.7	65%	13.5	32.2	---	67.7

ENTRE MEDIANERAS ESTE (REFERENCE CASE)					ZONA CLIMÁTICA B4										
Climate conditions	Location		B4 Peninsular												
	Heating degree-days		1528.5												
	Cooling degree-days		636.8												
															
								Building utilization						residential	
								Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60	
Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3	36.3							
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation							
	5.5x10x6	2	0.59	--	--	64	36	E							
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)		Infiltration n50 (1/h)							
	0.82	0.45	0.52	5.70	0.83	0.66		6.53							
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system								
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation								
	0.60		0.75		2.40		0.75								
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule											
	Winter		Summer		Winter		Summer								
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.								
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption										
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption							
	30.4	28.8	16.7	65%	16	36.6	---	78.5							

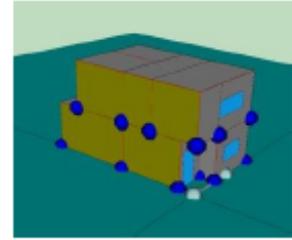
AISLADA SUR (REFERENCE CASE)				ZONA CLIMÁTICA C2				
Climate conditions	Location		C2 Peninsular					
	Heating degree-days		2085.8					
	Cooling degree-days		303.9					
Internal gains	Building utilization					residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources					4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)					27.4	36.3	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	7.6x9x5.4	2	1.03	16	18	37	29	E
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.73	0.41	0.50	4.07	0.78	0.624	3.88	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Set point temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	89.2	11.8	17.6	30%	6.6	102.2	---	129.8

AISLADA ESTE (REFERENCE CASE)				ZONA CLIMÁTICA C2				
Climate conditions	Location		C2 Peninsular					
	Heating degree-days		2085.8					
	Cooling degree-days		303.9					
Internal gains	Building utilization					residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources					4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)					27.4	36.3	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
				16	18	37	29	
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.73	0.41	0.50	4.07	0.78	0.624	3.88	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Set point temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	91.9	8.78	17.6	30%	4.9	104.9	---	128.9

## PAREADA SURESTE (REFERENCE CASE)

## ZONA CLIMÁTICA C2

Climate conditions	Location	C2 Peninsular
	Heating degree-days	2085.8
	Cooling degree-days	303.9



Internal gains	Building utilization			residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources			4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)			27.4	36.3	36.3

Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.77	31	55	14	--	SE

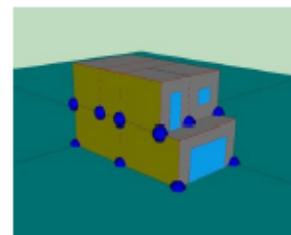
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.73	0.41	0.50	3.4	0.75	0.6	3.88

Building systems	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

Building setpoints and schedules	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	70.2	10.1	16.7	65%	5.6	76.34	---	98.7

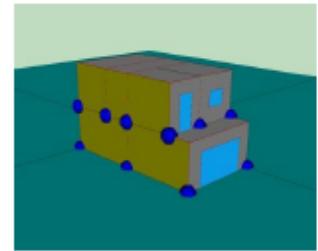
ENTRE MEDIANERAS SUR (REFERENCE CASE)					ZONA CLIMÁTICA C2			
Climate conditions	Location		C2 Peninsular					
	Heating degree-days		2085.8					
	Cooling degree-days		303.9					
Internal gains	Building utilization						residential	
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60	
	Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.59	36	64	--	--	S
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.73	0.41	0.50	4.08	0.78	0.624	3.88	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	50.5	6.5	17.6	30%	3.6	63.5	---	79.6



## ENTRE MEDIANERAS ESTE (REFERENCE CASE)

## ZONA CLIMÁTICA C2

Climate conditions	Location	C2 Peninsular
	Heating degree-days	2085.8
	Cooling degree-days	303.9



Internal gains	Building utilization			residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources			4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)			27.4	36.3	36.3

Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.59	--	--	64	36	E

Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)
	0.41	0.50	4.08	0.78	0.624	3.88	0.73

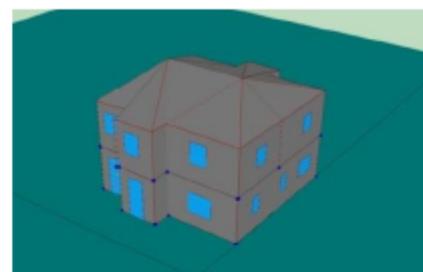
Building systems	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

Building setpoints and schedules	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	54.2	8.6	17.6	30%	4.8	67.2	---	86.5

<b>AISLADA SUR (REFERENCE CASE)</b>	<b>ZONA CLIMÁTICA D3</b>
-------------------------------------	--------------------------

<b>Climate conditions</b>	Location	D3 Peninsular
	Heating degree-days	2693.8
	Cooling degree-days	491.5



<b>Internal gains</b>	Building utilization	residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources	4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)	27.4	36.3	36.3

<b>Building Geometry</b>	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	7.6x9x5.4	2	1.03	29	37	16	18	S

<b>Building Elements</b>	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.66	0.38	0.49	3.5	0.76	0.60	3.88

<b>Building systems</b>	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

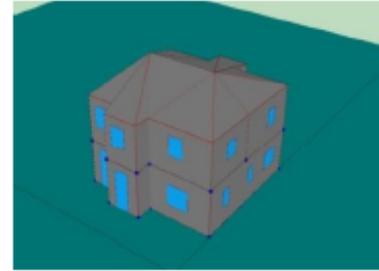
<b>Building setpoints and schedules</b>	Set point temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

<b>Building energy needs and use</b>	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	121.3	26.3	18.1	60%	14.6	128.9	---	178.7

## AISLADA ESTE

## ZONA CLIMÁTICA D3

Climate conditions	Location	D3 Peninsular
	Heating degree-days	2693.8
	Cooling degree-days	491.5



Internal gains	Building utilization		residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources		4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)		27.4	36.3	36.3

Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.77	31	55	14	--	SE

Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.66	0.38	0.49	3.5	0.76	0.60	3.88

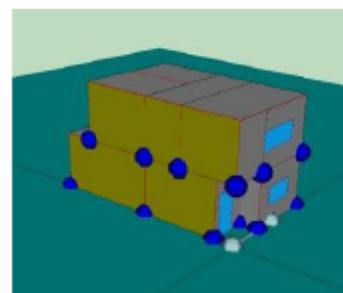
Building systems	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

Building setpoints and schedules	Set point temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	122.4	21.9	18.1	60%	12.2	130	---	174.2

**PAREADA SURESTE (REFERENCE CASE)****ZONA CLIMÁTICA D3**

<b>Climate conditions</b>	Location	D3 Peninsular
	Heating degree-days	2693.8
	Cooling degree-days	491.5



<b>Internal gains</b>	Building utilization	residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources	4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)	27.4	36.3	36.3

<b>Building Geometry</b>	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.77	31	55	14	--	SE

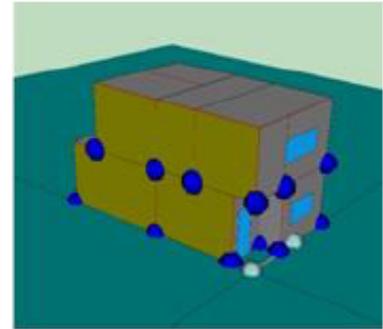
<b>Building Elements</b>	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.66	0.38	0.49	2.78	0.72	0.576	3.88

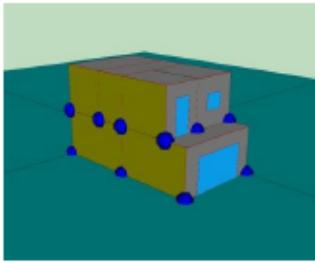
<b>Building systems</b>	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

<b>Building setpoints and schedules</b>	Setpoint temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

<b>Building energy needs and use</b>	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	96.1	23.4	18.1	60%	13	103.7	---	146.7

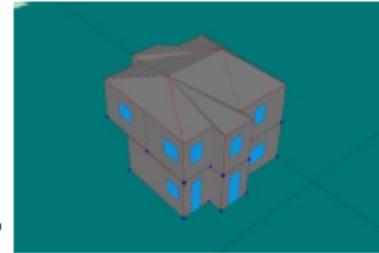
ENTRE MEDIANERAS SUR (REFERENCE CASE)					ZONA CLIMÁTICA D3			
Climate conditions	Location			D3 Peninsular				
	Heating degree-days			2693.8				
	Cooling degree-days			491.5				
Internal gains	Building utilization						residential	
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60	
	Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.59	36	64	--	--	S
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.66	0.38	0.49	3.44	0.75	0.6	3.88	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	71.3	17	18.1	60%	9.4	78.9	---	110.6



ENTRE MEDIANERAS ESTE (REFERENCE CASE)				ZONA CLIMÁTICA D3											
Climate conditions	Location			D3 Peninsular											
	Heating degree-days			2693.8											
	Cooling degree-days			491.5											
															
								Internal gains	Building utilization					residential	
									Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources					4.60	
Occupants / lighting / equipment (%)					27.4	36.3	36.3								
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation							
	5.5x10x6	2	0.59	--	--	64	36	E							
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)								
	0.66	0.38	0.49	3.44	0.75	0.6	3.88								
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system								
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation								
	0.60		0.75		2.40		0.75								
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule											
	Winter		Summer		Winter		Summer								
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.								
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption										
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption							
	77	19.9	18.1	60%	11.1	84.6	---	120.8							

<b>AISLADA SUR (REFERENCE CASE)</b>	<b>ZONA CLIMÁTICA E1</b>
-------------------------------------	--------------------------

<b>Climate conditions</b>	Location	E1 Peninsular
	Heating degree-days	3234.1
	Cooling degree-days	167.4



<b>Internal gains</b>	Building utilization	residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources	4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)	27.4	36.3	36.3

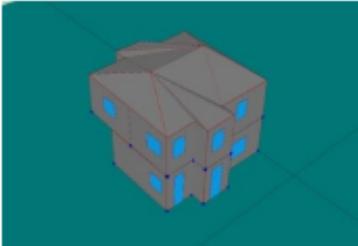
<b>Building Geometry</b>	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	7.6x9x5.4	2	1.03	29	37	16	18	S

<b>Building Elements</b>	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)
	0.57	0.35	0.48	3.1	0.74	0.59	3.88

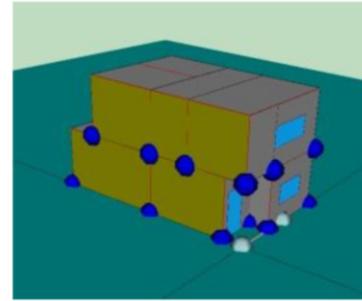
<b>Building systems</b>	Ventilation system	Heating system	Cooling system	DHW system
	Air flow rate (1/h)	Efficiency of generation	Efficiency of generation	Efficiency of generation
	0.60	0.75	2.40	0.75

<b>Building setpoints and schedules</b>	Set point temperature		Operating schedule	
	Winter	Summer	Winter	Summer
	19	26	0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.	15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.

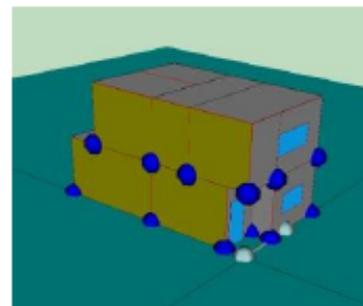
<b>Building energy needs and use</b>	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	148.3	3.9	18.7	50%	---	158.1	---	177.1

AISLADA ESTE (REFERENCE CASE)					ZONA CLIMÁTICA E1				
Climate conditions	Location			E1 Peninsular					
	Heating degree-days			3234.1					
	Cooling degree-days			167.4					
Internal gains	Building utilization						residential		
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60		
	Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation	
	7.6x9x5.4	2	1.03	16	18	37	29	E	
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)		
	0.57	0.35	0.48	3.1	0.74	0.59	3.88		
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system		
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation		
	0.60		0.75		2.40		0.75		
Building setpoints and schedules	Set point temperature			Operating schedule					
	Winter		Summer		Winter		Summer		
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.		
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption				
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption	
	149.6	2.3	18.7	50%	—	159.4	—	178.6	

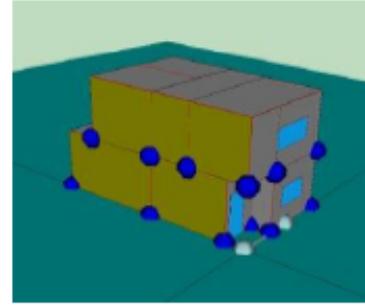
PAREADA SURESTE (REFERENCE CASE)				ZONA CLIMÁTICA E1				
Climate conditions	Location			E1 Peninsular				
	Heating degree-days			3234.1				
	Cooling degree-days			167.4				
Internal gains	Building utilization						residential	
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60	
	Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.77	31	55	14	--	SE
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (--)	Average g-value glazing +shading (--)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.57	0.35	0.48	2.6	0.71	0.57	3.88	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	121.1	2.8	18.7	50%	---	130.9	---	146.7



ENTREMEDIANERAS SUR (REFERENCE CASE)					ZONA CLIMÁTICA E1			
Climate conditions	Location			E1 Peninsular				
	Heating degree-days			3234.1				
	Cooling degree-days			167.4				
Internal gains	Building utilization						residential	
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60	
	Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.59	36	64	--	--	S
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.57	0.35	0.48	3.1	0.74	0.59	3.88	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	121.1	2.8	18.7	50%	---	130.9	---	146.7



ENTREMEDIANERAS ESTE (REFERENCE CASE)					ZONA CLIMÁTICA E1			
Climate conditions	Location			E1 Peninsular				
	Heating degree-days			3234.1				
	Cooling degree-days			167.4				
Internal gains	Building utilization						residential	
	Thermal gains (W/m <sup>2</sup> ). Sum of all sources						4.60	
	Occupants / lighting / equipment (%)						27.4	36.3
Building Geometry	Length x width x Height (m)	Number of floors	Surface to volume ratio	Ratio of window area over total building envelope % (N/S/E/W)				Orientation
	5.5x10x6	2	0.59	--	--	64	36	E
Building Elements	Average U-value of walls (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of roof (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of floor (W/m <sup>2</sup> K)	Average U-value of windows (W/m <sup>2</sup> K)	Average g-value glazing (-)	Average g-value glazing +shading (-)	Infiltration n50 (1/h)	
	0.57	0.35	0.48	3.1	0.74	0.59	3.88	
Building systems	Ventilation system		Heating system		Cooling system		DHW system	
	Air flow rate (1/h)		Efficiency of generation		Efficiency of generation		Efficiency of generation	
	0.60		0.75		2.40		0.75	
Building setpoints and schedules	Setpoint temperature			Operating schedule				
	Winter		Summer		Winter		Summer	
	19		26		0 – 24h Reduce temperature 17 for 1 to 8h.		15 – 24h Night time ventilation of 4 ACH.	
Building energy needs and use	Energy needs (Kwh/m <sup>2</sup> year)			Thermal energy from RES (thermal collectors)	Energy consumption			
	Heating	Cooling	DHW		Delivered electricity	Delivered Fossil fuel	Delivered other	Primary energy consumption
	121.1	2.8	18.7	50%	--	130.9	---	146.7



## • ANEXO B

Como referencia, estudiamos el consumo y coste anual de energía para una vivienda en la zona climática B4. Primero vemos cuánto reduciríamos el coste aplicando un 75% de reducción en el consumo de los meses de verano (junio, julio y agosto), siendo el porcentaje más alto obtenido. El EUR/kWh es 0.143959.

	Consumo	Precio	Consumo	Nuevo precio
Enero	444.5 kWh	67.52 €	444.5 kWh	67.52 €
Febrero	337.4 kWh	51.25 €	337.4 kWh	51.25 €
Marzo	288.4 kWh	43.82 €	288.4 kWh	43.82 €
Abril	336.2 kWh	53.65 €	336.2 kWh	53.65 €
Mayo	239.4 kWh	38.20 €	239.4 kWh	38.20 €
Junio	330.7 kWh	52.77 €	82.675 kWh	17.06 €
Julio	564.7 kWh	86.02 €	141.175 kWh	25.05 €
Agosto	485 kWh	73.88 €	121.25 kWh	21.51 €
Septiembre	347.9 kWh	52.99 €	347.9 kWh	52.99 €
Octubre	230.4 kWh	35.09 €	230.4 kWh	35.09 €
Noviembre	329.2 kWh	50.14 €	329.2 kWh	50.14 €
Diciembre	401.3 kWh	61.13 €	401.3 kWh	61.13 €
<b>Total</b>	<b>4335.1 kWh</b>	<b>666.46 €</b>	<b>3299.8 kWh</b>	<b>517.42 €</b>

<b>Reducción anual (con un 75 %)</b>	<b>149.04 €</b>
--	-----------------

Tabla 0-1. Reducción anual máxima en el coste de la energía para una vivienda de la zona B4.

Al año se reduciría el coste de la energía en unos 150 euros como máximo. A continuación vemos cuánto se reduciría como mínimo, utilizando el menor porcentaje de reducción obtenido (56%) para disminuir el consumo de la vivienda.

	Consumo	Precio	Consumo	Nuevo precio
Enero	444.5 kWh	67.52 €	444.5 kWh	67.52 €
Febrero	337.4 kWh	51.25 €	337.4 kWh	51.25 €
Marzo	288.4 kWh	43.82 €	288.4 kWh	43.82 €
Abril	336.2 kWh	53.65 €	336.2 kWh	53.65 €
Mayo	239.4 kWh	38.20 €	239.4 kWh	38.20 €
Junio	330.7 kWh	52.77 €	145.508 kWh	26.11 €
Julio	564.7 kWh	86.02 €	248.468 kWh	40.50 €
Agosto	485 kWh	73.88 €	213.4 kWh	34.78 €
Septiembre	347.9 kWh	52.99 €	347.9 kWh	52.99 €
Octubre	230.4 kWh	35.09 €	230.4 kWh	35.09 €
Noviembre	329.2 kWh	50.14 €	329.2 kWh	50.14 €
Diciembre	401.3 kWh	61.13 €	401.3 kWh	61.13 €
<b>Total</b>	<b>4335.1 kWh</b>	<b>666.46 €</b>	<b>3562.076 kWh</b>	<b>555.18 €</b>

<b>Reducción anual (con un 56 %)</b>	<b>111.28 €</b>
--	-----------------

Tabla 0-2. Reducción anual mínima en el coste de la energía para una vivienda de la zona B4.

En este caso obtenemos 111 euros anuales para el menor resultado.

Hay que tener en cuenta que estos valores son una aproximación debido a la variación del coste de la energía, no sabemos con exactitud como evolucionarán los precios en los próximos años y es importante destacar que se está estudiando un caso particular. Además, estamos suponiendo que todo lo consumido en verano es por refrigeración al aplicar el porcentaje de reducción, por tanto el ahorro anual real debería ser algo menor.