



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Estudio de la vegetación de cubiertas ajardinadas en el  
clima mediterráneo. Recomendaciones de diseño para una  
mayor durabilidad y diversidad de la capa vegetal

Trabajo Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura

AUTOR/A: Faubel Marco, David

Tutor/a: Lerma Elvira, Carlos

Cotutor/a: Mas Tomas, Maria de los Angeles

Cotutor/a: Garcia Borràs, Júlia

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Trabajo final de grado

**Estudio de la vegetación de cubiertas ajardinadas en el clima mediterráneo.**

**Recomendaciones de diseño para una mayor durabilidad y diversidad de la capa vegetal.**

David Faubel Marco

Universitat Politècnica de València

Tutores:

Dr. Carlos Lerma Elvira

Dra. Maria de los Ángeles Mas Tomás

Dra. Júlia Garcia Borràs

## Resumen

En la actualidad cada vez cobra más importancia el desarrollo de una sociedad sostenible en la cual el ahorro energético, la reutilización de materiales y la falta de espacios verdes en las ciudades son factores que afectan cada día más a la arquitectura. En este contexto, las cubiertas ajardinadas y los jardines verticales aparecen como una alternativa frente a las envolventes construidas tradicionalmente en los edificios, que ofrecen ventajas y nuevas posibilidades, a la vez que nuevos retos a la hora de ejecutarlas. En este campo se están realizando numerosas investigaciones que tratan de optimizar el comportamiento de las cubiertas ajardinadas, poniendo especial atención tanto en la capa de sustrato sobre la que crecerá la vegetación como en la elección de las especies vegetales más adecuadas para cada proyecto y su contexto, además del mantenimiento y riego que esta pueda necesitar para su supervivencia y el adecuado funcionamiento del sistema de cubierta. En este trabajo se estudian estos avances para utilizarlos como base teórica para una serie de recomendaciones propositivas de diseños constructivos que cubran las diferentes necesidades tipológicas que podrían derivar de un proyecto arquitectónico, de forma que puedan servir como base a la hora del diseño final del mismo.

**Palabras clave:** Cubiertas verdes, propuesta constructiva, reutilización de materiales, desarrollo sostenible, vegetación mediterránea, sustrato.

## Resum

En la actualitat cada vegada cobra més importància el desenvolupament d'una societat sostenible en la qual l'estalvi energètic, la reutilització de materials i la falta d'espais verds a les ciutats són factors que afecten cada dia més a l'arquitectura. En aquest context, les cobertes verdes i els jardins verticals apareixen com una alternativa davant les envoltants construïdes tradicionalment als edificis, que ofereixen avantatges i noves possibilitats, a la vegada que nous reptes a l'hora de executar-les. En aquest camp s'han estat realitzant nombroses investigacions que tracten de optimitzar el comportament de les cobertes enjardinades, posant especial atenció tant en la capa de substrat sobre la que creixerà la vegetació com en l'elecció de les espècies vegetals més adequades per a cada projecte i el seu context, a més del manteniment i el reg que pugui necessitar per a la seua supervivència i l'adequat funcionament del sistema de coberta. En aquest treball s'estudien aquests avanços per a emprar-los com a base teòrica d'una sèrie de recomanacions propositives de dissenys constructius que arreglen totes les diferents necessitats tipològiques que puguen derivar de un projecte arquitectònic, de forma que puguen servir com a base a l'hora del disseny final del mateix.

**Paraules clau:** Cobertes verdes, proposta constructiva, reutilització de materials, desenvolupament sostenible, vegetació mediterrània, substrat.

## Abstract

Nowadays there has been an increase of importance in developing a sustainable society in which saving energy, reusing materials and the lack of green spaces inside the cities are factors that affect more each day to architecture. In this context, green roofs and vertical gardens appear as an alternative to the traditional building techniques, offering advantages and new possibilities in comparison to these ones at the same time as new challenges in its construction. Within this field there have been several investigations willing to optimize the performance of the green roofs, paying special attention as much to the substrate layer where the vegetation will grow as to the election of the most appropriate vegetal species for each project and its context, in addition to the maintenance and the watering it could need to survive and the appropriate performance of the roofing system. In this paper these advances are studied in order to be used as theoretical base for a series of propositional recommendations of constructive designs that reach all the different typological needs that could derivate from an architectonic project, being able to be used as base for its final design.

**Key words:** green roofs, constructive proposal, reused materials, sustainable development, mediterranean vegetation, substratum.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
I.1. Objetivos.....	5
I.2. Estrategias.....	5
I.3. Marco Normativo.....	6
I.4. ODS.....	7
<b>II. LAS CUBIERTAS AJARDINADAS.....</b>	<b>9</b>
II.1. Definiciones.....	10
II.1.1. Beneficios.....	11
II.1.2. Limitaciones y Retos.....	15
II.1.3. Variedad de posibilidades.....	16
II.2. Diseño y ejecución.....	18
II.2.1. Condicionantes del diseño.....	18
II.2.2. Sistema constructivo.....	19
II.2.3. Riego.....	34
II.2.4. Mantenimiento .....	34
II.2.5. Seguridad.....	36
II.3. Tipologías de cubierta ajardinada.....	38
II.3.1. Extensivas.....	39
II.3.2. Semi-intensivas.....	40
II.3.3. Intensivas.....	41
II.3.4. Huerto.....	42
II.3.5. Aljibe.....	43
II.3.6. Generadoras de energía.....	44
II.3.7. Naturalizadas.....	45
II.4. Revisión de la literatura relacionada con el desarrollo de la vegetación en cubiertas ajardinadas en el clima mediterráneo.....	47
II.4.1. Sobre el sustrato y el riego.....	47
II.4.2. Sobre las especies vegetales.....	49
II.5. Formulación de la base teórica.....	51
<b>III. PROPUESTAS CONSTRUCTIVAS.....</b>	<b>53</b>
III.1. Extensivas.....	55
III.2. Semi-intensiva.....	59
III.3. Naturalizada.....	60
III.4. Intensiva.....	61
III.5. Huerto.....	62
<b>IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>V. REFERENCIAS.....</b>	<b>65</b>
Anexos.....	75
Anexo 1: Listado de especies vegetales recomendadas para su uso en cubiertas ajardinadas del mediterráneo .....	76

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la sociedad se preocupa cada día más sobre problemas tan graves como el cambio climático, el uso descontrolado de los recursos naturales y la aglomeración de las personas en ciudades poco salubres, que amenazan la sostenibilidad de la vida como la conocemos. El aumento de las temperaturas, los fenómenos meteorológicos extremos, el elevado coste de la energía, la escasez de recursos y la desaparición de espacios naturales y su biodiversidad son consecuencias de estos que afectan a todo el planeta, y la arquitectura y el urbanismo, como disciplinas encargadas de diseñar y construir el entorno donde vive el ser humano, deben responder ante estos problemas intentando minimizarlos o revertirlos.

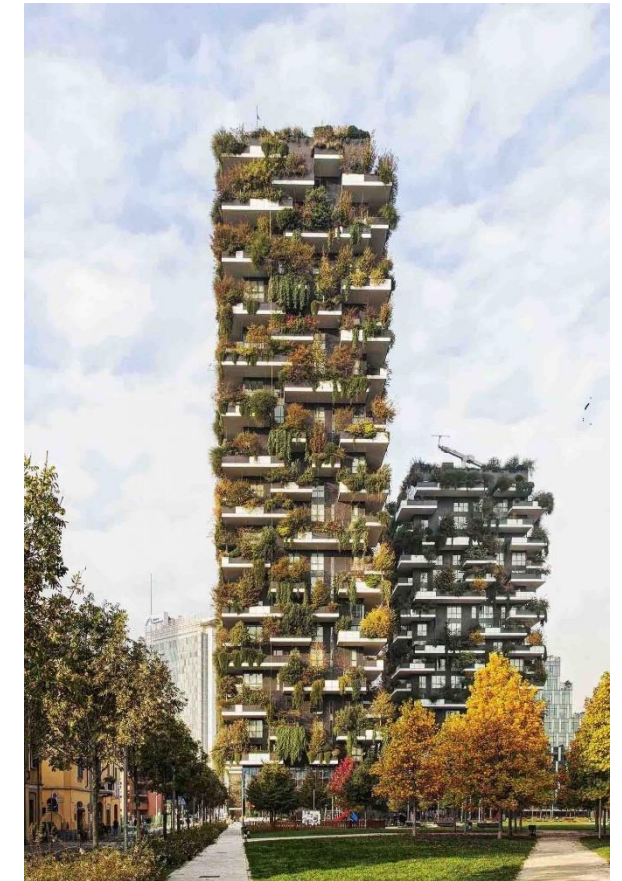
En este contexto, el sector de la construcción y los edificios son los responsables del 36 % del consumo energético global y del 39 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, el principal gas de efecto invernadero y responsable del cambio climático (UN Environment Programme)<sup>1</sup>. Como respuesta a esto, la arquitectura sostenible surge de perseguir objetivos como la reducción del consumo energético de los edificios, la implementación del uso de energías renovables, el uso de materiales más respetuosos con el medio ambiente y el desarrollo de diseños sostenibles.

Para alcanzar estos objetivos la arquitectura se hace valer de diferentes estrategias como el uso de sistemas que eviten las ganancias y pérdidas de energía, la reducción del consumo energético de las instalaciones, la construcción con materiales de proximidad, menos contaminantes y con un ciclo de vida largo, la implementación de sistemas constructivos prefabricados, la captación de recursos o el aumento de las superficies verdes. Entre todas estas estrategias aparecen como una herramienta más las cubiertas ajardinadas, destacando por los numerosos beneficios económicos, sociales y ambientales que ofrecen.

Este tipo de cubiertas se empezaron a desarrollar a mitad del siglo XX, y aunque aún hoy en día su utilización no está muy extendida debido a diferentes factores, existen una gran cantidad de investigaciones recientes sobre cómo maximizar sus beneficios y su adaptación tan necesaria a los diferentes climas que existen a lo largo del mundo, siendo uno de los más estudiados el clima mediterráneo por sus particularidades en cuanto a las diferencias de temperatura entre diferentes periodos del año y la falta de lluvias.

Como parte de estas investigaciones en torno a las cubiertas ajardinadas aparece este trabajo el cual pretende ofrecer una guía a los profesionales del sector de la construcción a la

hora de entender e implementar los últimos avances que los diferentes estudios realizados ofrecen, centrándose específicamente en los relacionados con el diseño y las necesidades de la vegetación en el contexto del clima mediterráneo.



*Fig 1.1: Torres residenciales Bosco Verticale (Milán, Italia).*

### I.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es alcanzar una serie de conclusiones que puedan ayudar a la elección de las especies vegetales más adecuadas para cada proyecto, así como a la optimización de todo el sistema en su conjunto para que cumpla sus funciones de forma adecuada y durante el mayor tiempo posible. Como parte de este objetivo aparecen los siguientes metas a alcanzar.

- Facilitar la comprensión de la forma en que funcionan los sistemas de cubiertas ajardinadas y todos sus componentes.
- Poner en valor las ventajas técnicas y sociales que ofrecen estos sistemas, sobre todo las relacionadas con el medioambiente y la biodiversidad de las ciudades y su entorno.
- Permitir a los profesionales el acceso a información clara y concisa que les facilite el proceso de diseño de estas cubiertas y la elección de los materiales óptimos para cada situación.
- Entender las funciones que desempeña la vegetación como parte del sistema constructivo, del edificio y de su entorno.
- Ayudar a la elección de las especies vegetales que se plantaran en las cubiertas con diferentes recomendaciones adaptadas al clima mediterráneo y al

contexto que pueda derivar de cada proyecto.

- Comprender las necesidades de la vegetación, y por lo tanto las adaptaciones del sistema constructivo que puedan ser necesarias para su correcto desarrollo.
- Relacionar con los Objetivos de Desarrollo Sostenible el uso de cubiertas ajardinadas en los edificios.

### I.2. Estrategias

Para alcanzar los objetivos declarados en el apartado anterior se diseñan las siguientes estrategias a seguir en la elaboración del trabajo.

- Definir el campo que abarcan las cubiertas ajardinadas y evaluar sus beneficios y ventajas sobre otras tipologías de cubierta. Analizando del mismo modo los posibles retos que puedan derivar de su uso.
- Estudiar las diferentes tipologías, así como sus sistemas constructivos. Analizando también en las características técnicas que deben cumplir cada uno de sus componentes según las diferentes normativas aplicables.
- Hacer un análisis crítico de los enfoques actuales sobre las cubiertas ajardinadas para después poner en valor la labor que

pueden desempeñar estas cubiertas en la conservación de la biodiversidad de nuestras ciudades, poniendo especial atención en las cubiertas naturalizadas.

- Estudiar la función que desempeña la vegetación dentro del sistema constructivo de las cubiertas ajardinadas, así como la necesidad de que esta sea la adecuada para cada proyecto, resiliente y durable.
- Reunir, estudiar y comparar los últimos avances realizados en este campo, sobre todo los relacionados con la vegetación y el sustrato necesario para su crecimiento en el contexto del clima mediterráneo. Su objetivo siendo el alcanzar una serie de conclusiones que puedan ser usadas como base teórica de los siguientes apartados.
- Aplicar todos los conocimientos adquiridos a una serie de propuestas de diseño constructivo adaptadas a las diferentes tipologías de cubierta ajardinada, las cuales puedan servir de base para futuros proyectos o estudios.

### 1.3. Marco Normativo

La normativa aplicable a las cubiertas ajardinadas en el territorio español es muy variada y extensa, estas van desde el ámbito europeo hasta el comunitario o incluso el municipal. Mientras que algunas de estas son de carácter obligatorio muchas otras se aportan guías y recomendaciones cuyo cumplimiento no es obligatorio, esto ocurre sobre todo con las normas específicas sobre ajardinamientos en la edificación. A continuación, se nombran las más relevantes para este trabajo y las cubiertas ajardinadas.

- **CTE:** El Código Técnico de la Edificación es una norma de obligado cumplimiento en todo el estado español la cual es la encargada de establecer las exigencias básicas que debe cumplir todo edificio, se trata, por lo tanto, de la norma básica que regula el sector de la edificación tanto pública como privada, y en ella se regulan las exigencias relacionadas con la seguridad y la habitabilidad de los edificios. Esta se divide según las exigencias en los Documentos Básicos de Seguridad Estructural, Seguridad en caso de Incendio, Seguridad de Utilización y Accesibilidad, Salubridad, protección contra el Ruido, y ahorro de Energía<sup>2</sup>. Cabe destacar que esta norma puede verse complementada por otras de carácter local.

- **FLL:** Las Green Roof Guidelines de la FLL (Landscape Development and Landscaping Research Society) es una guía para el diseño, ejecución y mantenimiento de las cubiertas ajardinadas desarrollada por esta asociación alemana<sup>3</sup>. Si bien no es de aplicación obligatoria se trata de una publicación muy completa que ha servido como base para gran parte de las normas y guías de la misma temática. Las primeras ediciones de esta norma datan de 1982 y su última edición es de 2018.
- **NTJ 11C Cubiertas Verdes:** Se trata de una norma tecnológica desarrollada por la Fundación de la Jardinería y el Paisaje, equivalente a la desarrollada por la FLL en el ámbito español. Al igual que la alemana, no es de obligado cumplimiento, pero constituye una buena base técnica y estándar de calidad sobre el cual basar los diseños de cubiertas ajardinadas. Su última edición es de 2012.
- **Otras:** Aunque las anteriormente nombradas son las principales normas que afectan a la construcción de cubiertas ajardinadas, muchas otras se deben tenerse en cuenta al desarrollar un proyecto, como podrían ser las diferentes normas autonómicas y municipales que complementan el CTE o estándares sobre materiales de construcción con sus propias normas EN, DIN o ISO. También cabe

destacar la existencia de otras guías desarrolladas por diferentes entidades y gobiernos que emulan o complementan la FLL y la NTJ 11C, entre ellas el **The Green Roof Code** inglés, el conjunto de guías y normas para el ajardinamiento en altura del gobierno de Singapur o la guía de azoteas vivas y cubiertas verdes del Ayuntamiento de Barcelona.

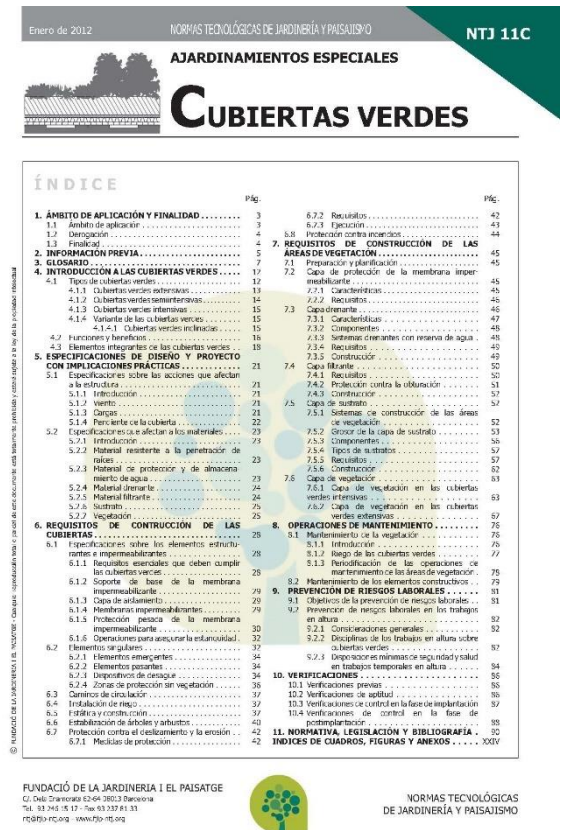


Fig. 1.2: Portada de la NTJ 11C.



#### I.4. ODS

El 25 de septiembre de 2015 la asamblea general de las naciones unidas aprobó la agenda 2030 para el desarrollo sostenible y como parte de ella se declararon los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, una serie de metas que se deben alcanzar para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de la sociedad. La propia ONU define el desarrollo sostenible como “el capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias

necesidades”<sup>4</sup> y al ser el principal objetivo de este trabajo el mejorar las prestaciones de algo tan común en todo el globo como son las cubiertas de los edificios es indudable que ambos guardan una estrecha relación. Si bien se podría relacionar este tema con prácticamente los 17 ODS, son 6 de ellos los que más en común tienen con el avance en los sistemas de cubierta ajardinada.

### OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Fig 1.3: Los ODS.

#### 3 SALUD Y BIENESTAR



La presencia de espacios verdes y naturales es un factor muy influyente tanto en la **salud** física y mental de la población como en su **bienestar**, y las cubiertas ajardinadas ofrecen la posibilidad de tener estos espacios en lugares donde escasean aprovechando zonas muchas veces sin utilidad.

#### 9 INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURAS



El noveno objetivo relaciona el cómo el crecimiento económico y el desarrollo sostenible dependen en gran medida de los avances tecnológicos de la **industria** y las **infraestructuras**, en ese sentido las cubiertas ajardinadas ofrecen una solución innovadora con mejores capacidades y resiliencia que otros sistemas.

#### 11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES



Una **ciudad** es **sostenible** en la misma medida que lo es también la sociedad que la habita, pero no se puede olvidar que las infraestructuras que la forman también deben serlo. Para ello los edificios y, como parte de estos, sus cubiertas deben ser seguras, resilientes y sostenibles.

## 12 PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES



El **consumo responsable** hace referencia a la correcta utilización de los recursos naturales, alargando lo máximo posible su vida útil, reutilizándolos y desechándolos de manera correcta al final de su ciclo de vida, los materiales usados en la construcción de cubiertas ajardinadas y el funcionamiento del sistema en conjunto, el cual reduce la energía utilizada por los edificios, posibilitan el hacer un buen uso de estos recursos.

## 13 ACCIÓN POR EL CLIMA



El **cambio climático** es uno de los grandes retos a los que se enfrenta la sociedad mundial y para enfrentarnos a él no es suficiente solo con reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, el reducir la energía consumida y regenerar las superficies verdes forman parte también de las medidas a tomar.

## 15 VIDA DE ECOSISTEMAS TERRESTRES



La vida de los **ecosistemas terrestres** se ha visto gravemente amenazada lo que pone en riesgo la biodiversidad y la supervivencia de muchas especies. Es necesario protegerlos y regenerarlos, y en este aspecto las cubiertas ajardinadas pueden tener un papel esencial en los ecosistemas urbanos.

## II. LAS CUBIERTAS AJARDINADAS

## II.1. Definiciones

El término "cubierta" tiene varias entradas en el diccionario de la RAE, dos de ellas cuyo significado guarda relación con el mundo de la construcción: "1. f. Cosa que se pone encima de otra para taparla o resguardarla" y "7. f. Parte exterior de la techumbre de un edificio" (RAE)<sup>5</sup>. Sin embargo, dentro de la arquitectura la cubierta de un edificio se define como el sistema constructivo que forma parte de la envolvente del mismo y que forma su parte superior cuya función principal es protegerlo frente a las condiciones ambientales y del clima para hacer habitable el espacio que confina<sup>6</sup>.

Dentro de todas las tipologías de cubierta, las que nos ocupan en este trabajo son las cubiertas ajardinadas. Estas surgen como una evolución de las cubiertas planas invertidas a las que se le añade un acabado vegetal y una capa más o menos gruesa de sustrato sobre la que esta pueda crecer. El término invertida viene dado por la posición que ocupan el aislamiento térmico y la capa impermeable entre sí, quedando la primera en una posición más externa, al contrario de cómo se hacía tradicionalmente, esto confiere al sistema la ventaja de que la lámina impermeable, que suele sufrir y desgastarse mucho ante las inclemencias del tiempo, queda mucho más protegida, alargando así su vida útil y por lo tanto la de toda la cubierta.

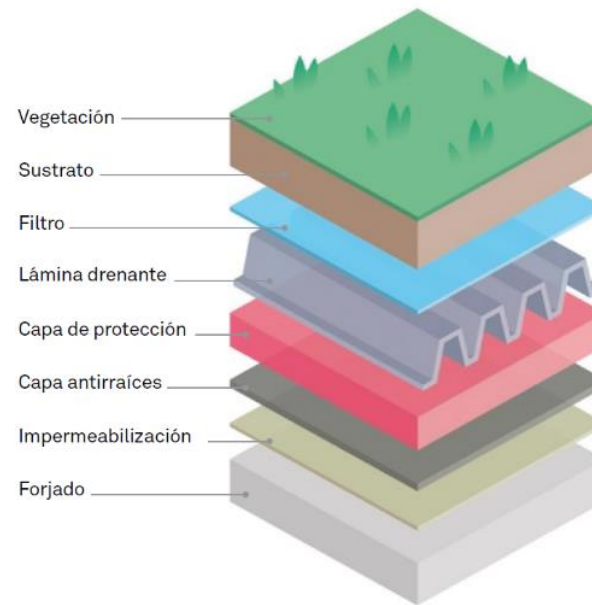


Fig 2.1: Componentes de una cubierta ajardinada.

Existen ejemplos y referencias históricas a cubiertas vegetales muy antiguas como pueden ser los jardines colgantes de Babilonia o en la arquitectura vernácula del norte de Europa, pero las cubiertas ajardinadas como las conocemos hoy en día aparecen en la Alemania de mitad de siglo XX de mano del movimiento moderno con el afán de aprovechar como terraza-jardín el forjado plano de cubierta propuesto por Le Corbusier y sus cinco puntos de la nueva arquitectura<sup>7</sup>. A partir de este punto los sistemas de cubierta ajardinada evolucionan de forma lenta pero continua de la mano de la industria de la

construcción, apareciendo cada vez más ejemplos por todo el mundo. Sin embargo, no ha sido hasta hace pocos años que han comenzado a dársele el valor que tienen y estudiarse sus ventajas y posibilidades pasando a formar parte del conjunto de herramientas utilizadas por la arquitectura sostenible<sup>8</sup>.



Fig 2.2: Terraza jardín de la Weissenhof de Le Corbusier y Pierre Jeanneret. Stuttgart (1927)

Lo que hoy en día ofrece este sistema constructivo es una solución de cubierta con un acabado vegetal muy atractivo que a su vez aporta una gran variedad de beneficios ambientales, sociales y económicos, siendo capaces de reducir el impacto ambiental, aumentar la resiliencia de las edificaciones, aportar espacios verdes y biodiversidad a las ciudades, y reducir el gasto energético entre otras prestaciones.

### II.1.1. Beneficios

Como ya hemos adelantado antes son numerosos los beneficios económicos, sociales y medioambientales que ofrecen las cubiertas ajardinadas, a continuación, se particularizan cada uno de ellos.

- **Para el edificio**
  - ◊ *Eficiencia energética*

Las cubiertas, como parte de la envolvente de un edificio, tiene como una de sus funciones aislar térmicamente el ambiente interior del exterior, y cuanto mayor este aislamiento, menor será la energía necesaria para hacer confortables las condiciones interiores, esto es lo que consiguen las cubiertas ajardinadas gracias al trabajo en conjunto de varios condicionantes.

El primero de ellos es la capacidad que la capa vegetal de reducir la temperatura superficial de la cubierta gracias tanto al efecto de la evapotranspiración propia de las funciones biológicas de estos organismos como a la sombra que proyectan, según los autores Eumorfopoulou, E. y Aravantinos, D. que estudiaron la protección térmica que ofrecen las cubiertas ajardinadas en Grecia el 27 % de la energía solar es reflejada por la vegetación, mientras que un 60 % de esta es absorbida por la vegetación, llegando solo el 13 % a

transmitirse al sustrato<sup>9</sup>. Uno de los factores que más influye este efecto es la “superficie de hoja”, término que hace referencia los m<sup>2</sup> de superficie vegetal que hay por m<sup>2</sup> de terreno, por lo tanto, cuanto mayor sea esta, mayor será el aislamiento térmico de la cubierta<sup>10</sup>.

La segunda de las ventajas de este sistema es la masa y la capacidad aislante del sustrato, esta varía según el espesor de la capa y su contenido de humedad, pero en cualquier caso supone un aumento de la capacidad aislante de la cubierta y su inercia térmica. Gracias a estos efectos Niachou et al. estimaron que la reducción del consumo energético en un clima mediterráneo, tanto para refrigeración como para calefacción, a lo largo del año es de un 2% con respecto a edificios bien aislados y alcanzando un 44% en los de aislamiento pobre<sup>11</sup>.



◊ *Vida útil de la impermeabilización*

Las láminas impermeables son una de las capas más vitales para el correcto funcionamiento de una cubierta ya que son las encargadas de asegurar su estanqueidad, sin embargo, son a la vez las que más degradación sufren dado que la duración de su vida útil se ve muy afectada por las altas temperaturas y la radiación solar, las cuales aceleran su envejecimiento.

En los sistemas de cubiertas ajardinadas la impermeabilización queda resguardada de la intemperie al situarse no solo debajo del aislamiento térmico, sino también de la capa de sustrato y la vegetación, los cuales protegen a esta capa de temperaturas extremas y radiación, contribuyendo así a alargando sustancialmente su vida útil.

◇ *Acondicionamiento acústico*

Una de las características que se suele pasar por alto de las cubiertas ajardinadas son sus capacidades acústicas. Por un lado, en el ambiente exterior la porosidad del sustrato y la capacidad de absorber energía mecánica de la vegetación son capaces de absorber parte del ruido del ambiente, lo cual resulta muy beneficioso en zonas con mucho tráfico rodado o cercanas a industrias. Yang et al. concluyeron que una cubierta ajardinada a un nivel próximo a la calle podría reducir el ruido del ambiente hasta en 9,5 dB<sup>12</sup>.

Por otro lado, la gran masa que aporta el sustrato al conjunto de la cubierta hace de esta un excelente aislante acústico frente al ruido exterior, lo que favorece un ambiente interior más confortable, Connelly y Hodgson llegaron a la conclusión de que las cubiertas ajardinadas ligeras pueden llegar a reducir la transmisión de ruido exterior a través de ella en 10 dB en frecuencias bajas y 20 dB en altas, observando además que estas aumentaban en la misma medida que lo hacía el espesor del sustrato llegando a los 25 dB en frecuencias altas a partir de 50 cm de espesor<sup>13</sup>.



◇ *Posibilidad de combinar con fotovoltaicas y otras instalaciones*

Cabe destacar que este sistema de cubierta es completamente compatible con otros usos y tipologías, pudiéndose componer las terrazas con zonas pavimentadas y espacios reservados para albergar las máquinas que dan servicio a las instalaciones del edificio. Sin embargo, la combinación de usos más interesante es sin duda la instalación de captadores solares sobre la cubierta vegetal, ya sean para generar energía térmica o fotovoltaica, de esta forma se genera una simbiosis en la cual ambas partes se ven beneficiadas. Por un lado, el enfriamiento del ambiente que se produce gracias a la vegetación permite que las placas fotovoltaicas trabajen de forma más eficiente, pudiendo llegar a producir hasta un 16% más de energía<sup>14</sup>, y por el otro la sombra generada por los paneles crea zonas de sombra donde algunas especies vegetales pueden crecer mejor.

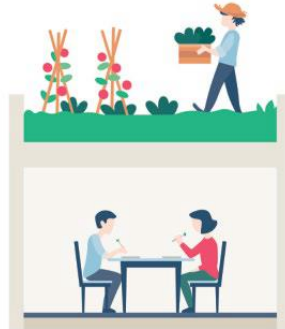
• **Públicos**  
◇ *Zonas verdes*

Uno de los grandes retos a los que se enfrentan las ciudades en la actualidad es la falta de espacios verdes, sobre todo en los centros históricos y las zonas de rápido crecimiento, los cuales ha sido demostrado que son imprescindibles para la salud tanto física como mental de la población. Las cubiertas ajardinadas permiten construir este tipo de espacios en zonas colmatadas donde de otro modo no habría espacio para ellas.



◇ *Espacios públicos y agricultura urbana*

Las cubiertas ajardinadas, tanto a nivel del suelo como en lo alto de un edificio pueden servir como espacios para el ocio y las relaciones sociales al generar lugares al aire libre tranquilos y naturales con una gran variedad de usos que pueden ir desde tender la ropa hasta la instalación de mobiliario e instalaciones recreativas. Una de las actividades más interesantes que permiten estas cubiertas es la instalación de cultivos urbanos en los cuales se pueden cosechar frutas y hortalizas para el consumo propio o para su comercialización, con esto se consigue reducir la huella de carbono y los precios al acercar la producción al consumidor, además este tipo de cultivos de autoconsumo puede ayudar en la lucha contra el hambre en zonas pobres. Por último, esta puede ser también una gran oportunidad para educar a las generaciones más jóvenes en materias medioambientales y de respeto a la naturaleza.



◇ *Reutilización de residuos*

Si estudiamos todo el ciclo de vida de un edificio la energía consumida por el mismo no es únicamente la de su periodo de uso, el proceso de construcción, transporte y producción de materiales necesarios para edificarlo requieren también grandes cantidades de energía, y un buen modo de reducir esta “energía embebida” es la reutilización y reciclado de dichos materiales. En este aspecto existen numerosos estudios relacionados con el uso de materiales de desecho de la construcción como parte del sustrato de las cubiertas ajardinadas, así como a tratar de utilizar materiales más sostenibles para sustituir los polímeros con los que se suelen realizar numerosas capas de las cubiertas ajardinadas<sup>8</sup>.

◇ *Gestión de las aguas pluviales*

Las cubiertas ajardinadas son capaces de almacenar parte del agua de lluvia la cual es absorbida por las plantas y el sustrato, permitiendo así que la cantidad de agua que llegue al alcantarillado de las ciudades sea en menores cantidades y de forma más repartida en el tiempo, lo que reduce el riesgo de inundaciones. Este efecto depende en gran medida del grosor de la capa de sustrato, pero incluso con espesores reducidos el volumen de agua absorbida es muy relevante. Fioretti et



al.<sup>15</sup> observamos en Italia que el volumen de agua retenido por una cubierta con 20 cm de sustrato alcanzaba el 68%, mientras que el pico de escorrentía se reducía un 89%.

• **Ambientales**

◇ *Disminución del efecto isla de calor*

Se llama isla de calor al efecto que se produce en las ciudades por el cual la temperatura dentro del núcleo urbano es considerablemente más elevada que en la periferia debido a la gran cantidad de superficies duras que absorben la radiación solar, la cual se transforma en calor que es almacenado por estos materiales y emitido al ambiente durante muchas horas incluso después de que se haya ido el sol<sup>8</sup>. Este aumento de la temperatura, aparte de implicar un mayor consumo energético en los sistemas de refrigeración de los edificios, es perjudicial para la salud y el bienestar de los habitantes de las ciudades, pudiendo llegar a elevar el índice de mortalidad de los ciudadanos<sup>16</sup>.

Las zonas verdes, entre las que están las cubiertas ajardinadas, son capaces de reducir este efecto gracias a la evaporación del agua de las plantas que se produce cuando estas hacen la fotosíntesis, Serak et al.<sup>17</sup> comprobaron que la temperatura 30 cm por encima de una cubierta ajardinada es 1,06 °C más baja que en una cubierta tradicional durante el día, y aumentando durante la noche hasta los 1,58 °C, sin embargo, este efecto prácticamente desaparece si la vegetación resulta dañada.

Otra de las condiciones que se deben cumplir para que este enfriamiento sea significativo a escala urbana es que la superficie verde total sea lo suficientemente extensa, por lo tanto, es imprescindible un planeamiento en conjunto de las cubiertas ajardinadas con la infraestructura verde de las ciudades.

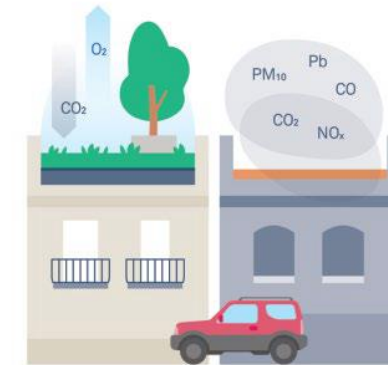


#### ◇ *Reducción de la contaminación*

El sustrato y la vegetación de las cubiertas ajardinadas son capaces de filtrar pequeñas partículas de polvo y absorber gases contaminantes presentes en el aire reduciendo así la contaminación y el efecto smog (niebla contaminante) de las ciudades. Las plantas, mediante la fotosíntesis son también capaces de descomponer las moléculas de CO<sub>2</sub>, el gas de efecto invernadero más presente en la atmósfera. Este efecto es más beneficioso a cotas reducidas, aun así, diferentes investigaciones han demostrado que cada metro cuadrado de cubierta ajardinada es capaz de atrapar hasta 0,2 kg de polvo al año<sup>18</sup>.

#### ◇ *Mejora del paisaje urbano y la calidad de vida*

Los espacios verdes de los centros urbanos están directamente ligados a la calidad de vida con la que los ciudadanos viven en ellos y las cubiertas ajardinadas pueden proporcionar una gran cantidad de estos espacios en zonas donde la alta densidad edificatoria no permite su construcción cota cero, mejorando a su vez el aspecto estético del paisaje de las ciudades. También pueden servir estas cubiertas como una estrategia a la hora de buscar la integración paisajística de los edificios construidos en zonas naturales.



#### ◇ *Hábitats y Biodiversidad*

Las cubiertas ajardinadas son capaces de dar cobijo a un gran número de seres vivos, no solo a las especies vegetales que forman parte del sistema constructivo, sino también a invertebrados, aves y otras plantas que puedan aparecer de forma natural. Con ello se pueden crear corredores verdes que unan los diferentes espacios naturales de los núcleos urbanos y sus periferias, permitiendo así el movimiento y la dispersión de la fauna y flora que forma parte de los ecosistemas de las ciudades y devolviendo parte del espacio tomado por la urbanización de estas a sus ocupantes originales<sup>19</sup>, algo sumamente necesario para conservar la biodiversidad de nuestro entorno y asegurar la sostenibilidad de la vida en el planeta.



En este ámbito se pueden diseñar cubiertas ajardinadas con objetivo de recrear los hábitats naturales de diferentes especies para que estas puedan hacer uso de ellas, para ello es necesario adaptar la profundidad del sustrato, el uso de tierras naturales de zonas cercanas y la instalación de elementos naturales como láminas de agua o troncos y rocas donde la fauna pueda refugiarse<sup>20</sup>.



Fig 2.3: Diagramas representativos de los beneficios

### II.1.2.Limitaciones y retos

Pese a todas las oportunidades y beneficios que ofrecen, el uso de las cubiertas ajardinadas hoy en día aún está muy limitado a un pequeño porcentaje de los edificios construidos, esto se debe a una serie de dificultades y obstáculos que supone la construcción con este sistema de cubierta.

El primero de ellos es el **coste económico** que supone construir este sistema frente a otros tipos de cubierta. Pese a que a largo plazo está demostrado que la instalación de cubiertas ajardinadas tiene numerosos beneficios económicos derivados de factores como el gasto energético o la vida útil, la inversión inicial necesaria que supone su construcción es un obstáculo que pocos promotores y propietarios están dispuestos a asumir<sup>21</sup>.

El segundo reto al que se enfrentan es la **necesidad de riego y mantenimiento** continuo que requieren el sistema y sobre todo la vegetación. Sobre todo, en climas secos y cálidos como es el mediterráneo se hace completamente necesario, si no se desea recurrir a algunas especies de suculentas con poco atractivo estético y peor eficiencia, el riego y aportación de fertilizantes para la supervivencia de la vegetación, si a esto se le añade la indispensable **poda** y retirada de desechos, esta acaba siendo una carga con la que los propietarios no desean lidiar<sup>22</sup>.

Las posibles **filtraciones** son uno de los riesgos más temidos por los propietarios y suponen uno de los mayores impedimentos a la hora de implementar el uso cubiertas ajardinadas. En cualquier tipo de cubierta existe la posibilidad de que aparezcan filtraciones, pero la presencia continua de agua en el sustrato y la capacidad de las raíces de las plantas de

atravesar las láminas impermeables aparentan un riesgo mayor del habitual. Sin embargo, siempre que el sistema se haya diseñado e instalado de forma correcta, la situación es completamente la contraria, algunos autores han corroborado que la protección de la impermeabilización aportada por el resto de los elementos alarga el tiempo de vida de estas.

Otra de las críticas que se les hace a las cubiertas ajardinadas es que pese a tener un acabado verde y respetuoso con el medio ambiente, muchas de las capas internas del sistema constructivo están hechas con **polímeros** los cuales liberan mucha contaminación durante su proceso de construcción, además de suponer un problema a la hora del desecho de dichos productos al final de la vida de los edificios. En este ámbito están realizándose diferentes estudios con el objetivo de usar materiales reciclados u otros menos contaminantes, pero igualmente cabe destacar que los beneficios ambientales de las cubiertas ajardinadas acaban compensando estas emisiones a largo plazo.

Por otro lado, existe una **falta de investigación** en torno a este tipo de cubiertas, sobre todo a nivel local. Pese a que el modelo de cubierta ajardinada y la vegetación que se debe plantar está muy estudiado en climas templados y fríos, las necesidades de las plantas hacen que

se deban adaptar a otros tipos de climas más cálidos o secos como puede ser el mediterráneo. Es en este contexto donde se hace necesario un mayor desarrollo, y pese a que en los últimos años han proliferado los estudios relacionados con ello, sigue quedando camino por recorrer<sup>22</sup>.

Por último, con algunas excepciones como puede ser Singapur o algunas políticas de países desarrollados, la **falta de apoyo** por parte de los gobiernos y el sistema supone una gran traba a la popularización de las cubiertas ajardinadas.

### II.1.3. Variedad de Posibilidades

Dentro de los proyectos arquitectónicos existen un gran número de condicionantes y variables que afectan a las soluciones constructivas que se acaban implementando a la hora de su ejecución. El caso de los sistemas de cubierta ajardinada no es una excepción y a pesar de la complejidad de estos son capaces de ofrecer soluciones muy interesantes según sea la situación. A continuación, se introducen algunas de ellas.

La primera es su potencial en el campo de la rehabilitación. A pesar de que la mayoría de estas cubiertas se construyen en edificios de nueva planta, es completamente posible su instalación sobre cubiertas de edificios ya

existentes, en los cuales resultan muy interesantes las prestaciones que ofrecen estos sistemas, sobre todo a la hora de aumentar el aislamiento térmico y de aportar espacios verdes en zonas urbanas ya consolidadas. El instalar estos sistemas puede tener el inconveniente de que al aumentar el peso de la cubierta sea necesario el refuerzo de la estructura, sin embargo, si se usa una tipología de cubierta ajardinada extensiva, donde el espesor del sustrato es mínimo, este aumento de peso puede ser casi despreciable y el edificio tener la suficiente capacidad resistente.

Por otro lado, existen diferentes soluciones que permiten construcción de cubiertas ajardinadas **con pendientes** de hasta 45°. Estas requieren un sistema de recogida de aguas diferente al habitual y, según el grado de inclinación, diferentes elementos de sujeción del terreno, pero básicamente el comportamiento y los componentes del sistema son los mismos que en las planas<sup>14</sup>.



Fig 2.4: Cubierta ajardinada inclinada. Bodegas Ramón Bilbao, La Rioja.

Otra de las posibilidades que ofrece esta tipología es su combinación con otras tipologías de cubierta como es la **cubierta aljibe**. Para ello se reserva bajo el sustrato un espacio capaz de almacenar el agua de lluvia y que funciona a modo de aljibe, con esto se consigue amentar todavía más el aislamiento térmico de la cubierta y un mayor control de las escorrentías, además esta agua puede ser utilizada para el riego de la vegetación de la cubierta o para diferentes usos domésticos<sup>21</sup>.

Por último, y como ya se ha mencionado en el apartado II.1.1, la instalación de **paneles fotovoltaicos** sobre las cubiertas ajardinadas resulta en ventajas tanto para la vegetación como para los paneles, aumentando la eficiencia de ambos sistemas gracias a la sombra que generan las placas y a la reducción de la temperatura ambiente que aporta las plantas.

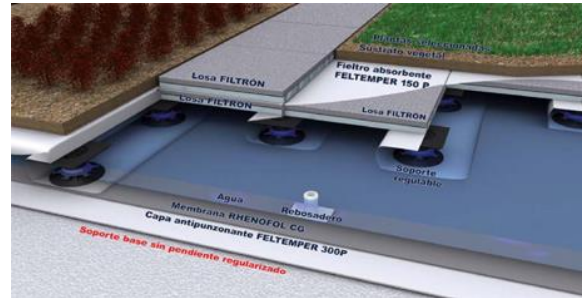


Fig 2.5: Representación de la construcción de una cubierta ajardinada aljibe.



Fig 2.6: Cubierta ajardinada con instalación de paneles fotovoltaicos. Centro Tecnológico de Múnich, Alemania.

## II.2. Diseño y ejecución

Los sistemas constructivos de cubierta ajardinada son complejos y están llenos de variables que dependen de factores que tienen que ver con el entorno en el que están implantados, el proyecto arquitectónico del edificio en su conjunto, el funcionamiento de la propia cubierta y la capa vegetal que en ella crece. Para que estas cubiertas resulten exitosas, es decir, que cumplan todas las funciones para las que son diseñadas, los profesionales deben tener en cuenta, a la hora de su diseño y ejecución, todos los parámetros que a continuación se desarrollan.

### II.2.1. Condicionantes del diseño

Las cubiertas, al igual que los edificios, se construyen dentro de un contexto climático, físico y social que viene dado por su entorno. Este contexto influye en la forma en la que el diseño y construcción de los edificios se ejecutan, lo que provoca una adaptación de todas sus partes a dicho contexto. En este caso las cubiertas ajardinadas no son una excepción, y en su ejecución influyen muchos parámetros como las condiciones climáticas, el soleamiento o la existencia de otros elementos verdes. A su vez estas también dependen mucho de los condicionantes impuestos por el proyecto, tales como el uso que se le quiera dar a la cubierta, si esta es accesible, las

necesidades de la vegetación o si se requiere de reservar algún espacio para albergar instalaciones.

- **Condiciones climáticas**

Factores que dependen del clima de cada región como las temperaturas, las precipitaciones y el viento afectan en gran medida a la vegetación, así como a otros elementos como los destinados a la recogida de aguas.

En climas mediterráneos donde las temperaturas en invierno pueden llegar a ser negativas mientras que los veranos se caracterizan por ser secos y calurosos, la elección de especies vegetales resistentes a tales condiciones es indispensable, y en la mayoría de las ocasiones será necesario instalar un sistema de riego.

- **Entorno**

La altura y posición relativa a otros edificios próximos, la implantación en zonas de la ciudad con una estética protegida o la presencia de otros elementos verdes cercanos son condiciones que afectan al diseño de las cubiertas ajardinadas.

Por un lado, la sombra proyectada por edificios cercanos o por otras partes y elementos del mismo edificio puede influir en la elección del

tipo de vegetación a plantar. Mientras que por el otro las restricciones visuales de cada municipio pueden imponer que la vegetación tenga que quedar oculta, limitando así su posición o altura, o incluso prohibir su uso.

- **El proyecto**

A la hora de construir una cubierta ajardinada, las cargas que estas transmiten, el espesor de cubierta necesario para albergar todas las capas del sistema y otros aspectos técnicos interactúan con el edificio condicionando otras partes de este.

A su vez, el proyecto puede imponer condiciones sobre la cubierta afectando así al funcionamiento de la misma, por ejemplo, el nivel de accesibilidad puede limitar sus usos, pudiendo limitarse únicamente a un mantenimiento mínimo y por tanto descartando tipologías que requieran de una atención mayor. Por otro lado, el uso que se le quiera dar a este espacio (huerto urbano, zonas de descanso, instalar paneles fotovoltaicos...) puede influir tanto en la tipología de cubierta ajardinada como en las especies vegetales prescritas, además de poder requerir de algunas zonas pavimentadas para acceso, recorridos o mantenimiento<sup>23</sup>.

- **La vegetación**

El mayor condicionante del diseño final de una cubierta ajardinada es la vegetación y sus necesidades. Diferentes especies aportan diferentes propiedades físicas y estéticas al proyecto, además estas se deben adaptar a factores inamovibles como el clima o el entorno, y por tanto no existe una receta exacta de cuales se deben plantar. Estas diferencias se traducen en necesidades dispares que los elementos del sistema constructivo deben satisfacer, entre ellas se encuentran la profundidad del sustrato y su composición, el consumo de agua y por lo tanto la posible necesidad de un sistema de riego, el requerimiento de anclar los árboles y arbustos para que resistan el viento, y el mantenimiento que requieran.

- **Coste**

El último de los condicionantes del proyecto es el coste económico de instalar este tipo de cubiertas, las cuales si tienen poco espesor de sustrato y mantienen una vegetación simple tienen un precio muy similar a otras tipologías más tradicionales, pero que a medida que aumentan su espesor y complejidad pueden llegar a suponer un desembolso económico considerable<sup>14</sup>.

## II.2.2. Sistema constructivo

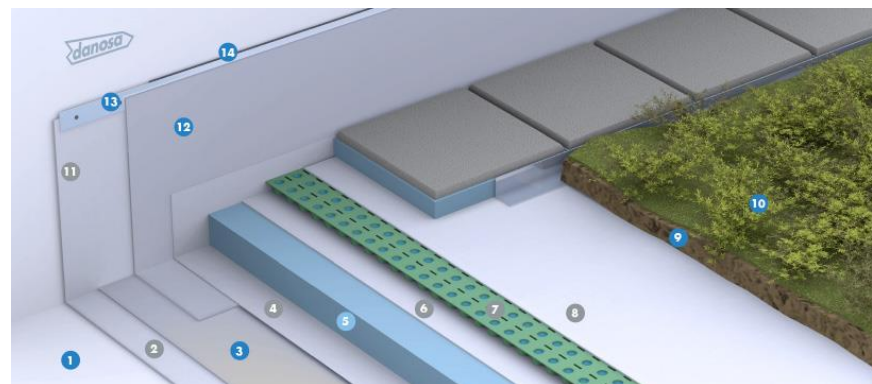
La construcción de una cubierta ajardinada requiere de un sistema constructivo complejo y con muchos componentes en el cual cada uno de ellos desempeña una función específica para tratar de proporcionar a la vegetación de un entorno lo más parecido posible a un suelo natural a la vez que cumplen los requisitos esenciales que deben cumplir todas las cubiertas.

Estos requisitos vienen dados por las exigencias básicas del CTE, siendo estos la estabilidad y resistencia mecánica, salubridad, seguridad en caso de incendio, seguridad de uso, protección contra el ruido y ahorro de energía y protección térmica<sup>24</sup>.

Una vez cumplidos estos requisitos básicos, el sistema se debe configurar de forma que se

mantengan unos niveles adecuados de luz solar, humedad, drenaje, aireación de las raíces, nutrientes y mantenimiento, para poder sostener la vida de las especies vegetales a implantar<sup>19</sup>.

El sistema multicapa de cubierta ajardinada suele seguir la siguiente configuración, del interior hacia el exterior: soporte resistente, formación de pendientes, impermeabilización, protección antiraíces, aislamiento térmico, capa drenante/retenedora de agua, lámina filtrante, sustrato y vegetación. Además de estos componentes, habrá que añadir otros como capas separadoras entre elementos incompatibles, los sistemas de recogida de aguas y riego, pavimentos, y soluciones para puntos singulares y para garantizar que su utilización es segura, para que al final quede el sistema completo.



- 1.- Soporte resistente
- 2, 4, 6,- Capas separadoras
- 3.- Impermeabilización
- 5.- Aislante térmico
- 7.- Capa drenante/retenedora de agua
- 8.- Lámina filtrante
- 9.- Sustrato
- 10.- Vegetación

Fig 2.7: Sistema constructivo de cubierta ajardinada.

- ***Soporte resistente***

Al igual que en cualquier otra tipología de cubierta, la estructura debe cumplir todos los criterios de diseño de estructural y soportar las cargas propias de la estructura y la cubierta, las sobrecargas de uso, nieve y viento, y las acciones accidentales.

A la hora de calcular las cargas de la cubierta se deberá asumir el peso saturado del sistema y cualquier carga puntual de borde, instalaciones y árboles. Para ello, según el CTE DB SE-AE<sup>2</sup> se puede asumir que el relleno de tierra tiene un peso de 20 kN/m<sup>3</sup>, pero para un cálculo más detallado del peso del sustrato y la vegetación, así como del resto de componentes del sistema, se recomienda consultar el Anexo IV de la NTJ 11C<sup>24</sup>.

En cuanto a las sobrecargas y las acciones accidentales su cálculo será igual que en cualquier otro tipo de cubierta, a excepción del caso del viento, el cual afecta a la vegetación y al sustrato, pudiendo ser necesario la instalación de anclajes y elementos de protección.

Una vez asumida la carga de la cubierta, el soporte resistente del sistema de cubierta ajardinada podrá ser tanto el propio forjado, ya sea plano o inclinado, como un tablero de soporte como los que se utilizan en otras

tipologías de cubierta para crear cubiertas inclinadas sobre forjados planos o los que se instalan en cubiertas planas dejando una cámara ventilada bajo ellos. En el segundo caso.

- ***Formación de pendientes***

En cubiertas planas se recomienda que la pendiente no sea inferior al 2% para asegurar el drenaje y el desagüe evitando así los encharcamientos. Para la formación de estas se suelen emplear hormigones ligeros para generar faldones que vierten el agua hacia un punto donde se producirá su recogida, la superficie de esta deberá ser lisa y regular, sin elementos que puedan dañar las capas superiores. La NTJ 11C recomienda la colocación de una capa separadora entre esta superficie y la lámina impermeable se tenga que colocar a continuación, siempre y cuando esta no tenga que ir adherida<sup>24</sup>.

En el caso de cubiertas inclinadas, a partir de los 10% de pendiente se recomienda el uso exclusivo de cubiertas extensivas, a partir de los 30% se hace necesaria la colocación de láminas antirosión y la instalación de fijaciones para las láminas que conforman el sistema, llegando a ser necesaria la colocación de barreras antiempuje para evitar el deslizamiento del sustrato<sup>8</sup>.



Fig 2.8: Formación de pendientes.

- ***Impermeabilización***

Se trata de una capa vital para el correcto funcionamiento de cualquier cubierta, pero la presencia continua de humedad en el sistema la hacen aún más relevante para conseguir la estanquidad total al paso del agua de esta. Existen dos clasificaciones de las láminas impermeables más comunes: las de **base bituminosa**, que pueden emplearse en sistemas monocapa o bicapa, e instalarse adheridas, no adheridas o fijadas mecánicamente a la base resistente; o las sintéticas, las cuales se colocan con sistemas monocapa y pueden ir no adheridas, semiadheridas o fijadas mecánicamente a la base.

En ambos casos y al igual que en una cubierta convencional, a la hora de su colocación, se deberá tener especial cuidado con los solapes de las láminas y los encuentros con puntos singulares de la cubierta, asegurando la continuidad de la impermeabilización en todo momento. Una vez instalada la impermeabilización se deberá llevar a cabo una prueba de estanqueidad, inundando para ello la cubierta durante al menos 24 horas<sup>8</sup>. Por último, se deberá colocar una capa separadora tanto por encima de las láminas para protegerlas de los posibles movimientos y acciones de capas superiores.

Para evitar que las láminas impermeables sean atravesadas por las raíces de las plantas o se vean afectadas por las sustancias químicas y microorganismos presentes en el sustrato, además de instalar una lámina antiraíces, se recomienda que las láminas instaladas resistentes a estas acciones, desaconsejándose de esta manera el uso de láminas de base bituminosa, las cuales son más inestables químicamente, y fácilmente penetradas por las raíces<sup>14</sup>.



*Fig 2.9: Ejecución de impermeabilización mediante lámina asfáltica.*



*Fig 2.10: Lámina antiraíces de polietileno (PE-LD).*

- **Lámina antiraíces**

Las láminas antiraíces se encargan de proteger las láminas impermeables de ser atravesadas por las raíces de la vegetación, lo que podría causar filtraciones. Para cumplir esta función deben ser resistentes tanto a acciones físicas como la tensión o la elongación, como a los ataques químicos<sup>24</sup>. Estas pueden ir incorporadas a las propias láminas impermeables, como es el caso de las láminas sintéticas de EDPM (caucho de Etileno, Propileno y un Monómero Diéno), o se pueden implementar como una lámina a parte<sup>8</sup>, en este caso se pueden usar materiales como membranas de polietileno clorado, membranas de PVC o selladores fluidos aplicados sobre una capa separadora geotextil<sup>10</sup>. Es importante que se cubra el total de la superficie de la cubierta, aunque haya zonas de ella que no vayan a ser destinadas al ajardinamiento, ya que las raíces de las plantas pueden extenderse muchos metros en busca de huecos y humedad.

- **Aislamiento térmico**

Uno de los requisitos impuestos por el documento básico de ahorro de energía del CTE es la limitación de las pérdidas energéticas de los edificios, y para ello, toda la envolvente del edificio debe tener la suficiente resistencia a la transmisión térmica. Para cumplir esta exigencia en las cubiertas ajardinadas puede ser necesaria, o no, dependiendo del espesor del sustrato el cual tiene una buena capacidad aislante, la colocación de algún material aislante a continuación de la impermeabilización. Igualmente, aunque no fuera necesario, se recomienda la instalación de al menos una capa fina (3 cm) de aislante para proteger la impermeabilización de las temperaturas extremas y de posibles daños mecánicos, o en su defecto una capa separadora.

Al situarse por encima de la lámina impermeable, el aislamiento térmico está en contacto con el agua de la cubierta, y por lo tanto deberá ser adecuado para ello<sup>23</sup>. El material más usado en esta situación es el XPS (Poliestireno Extruido), el cual, para soportar las cargas del resto de elementos y del uso, deberá tener al menos una resistencia a la compresión de 300 KPa<sup>25</sup>.



Fig 2.11: Plancha rígida de espuma de poliestireno extruido (XPS).

- **Capa drenante/retenedora de agua**

La capa drenante desempeña un rol crucial en las cubiertas ajardinadas, se encarga de evacuar el agua excedente que el sustrato no puede absorber y permite su ventilación, evitando así el encharcamiento y la pudrición de las raíces de la vegetación<sup>26</sup>. A esta capa se le puede añadir la función de acumular cierta cantidad de agua con el fin de que, en periodos de escasas precipitaciones, esta reserva aporte la humedad que las plantas puedan necesitar<sup>23</sup>. En cubiertas extensivas con sustratos lo suficientemente porosos se podrá de esta capa.

Los materiales usados para esta función pueden ser de dos tipos: granulares, compuestos por gravas, arcillas expandidas o materiales reciclados, entre cuyas partículas puede filtrarse el agua y son capaces de absorber parte de ella; o laminas nodulares de plástico, conformadas con protuberancias que dejan pasar el agua a la vez que retienen una parte.

Los materiales granulares no se podrán usar en pendientes mayores al 10% y su espesor nunca podrá ser menor de 6 cm, la granulometría deberá estar comprendida entre 20 mm y 50 mm. Los materiales sintéticos tienen las ventajas de ser mucho más ligeros y su instalación es más fácil y rápida, sin embargo, son más caros y se secan de forma más rápida que los granulares, y al ser de materiales plásticos su fabricación y derecho implican elevados niveles de contaminación<sup>8</sup>.

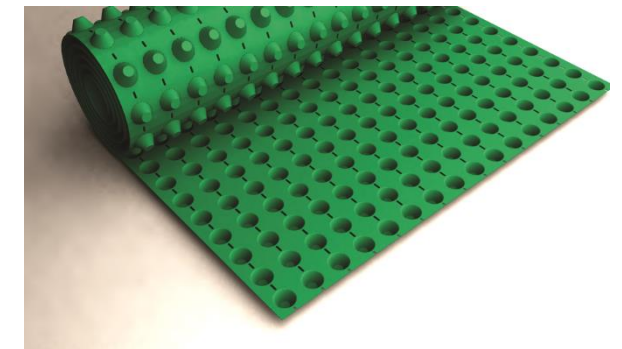


Fig 2.12: Lámina drenante/retenedora de agua de polietileno de alta densidad (HDPE).



- **Capa filtrante**

Entre la capa drenante y el sustrato se deberá colocar una lámina filtrante, cuya función será el evitar el paso de las partículas finas de la tierra hacia las capas inferiores, las cuales podrían producir su obturación y por lo tanto interferir en su correcto funcionamiento<sup>23</sup>. Para ello se suelen utilizar fieltros geotextiles, los cuales deberán tener una permeabilidad al agua al menos 10 veces mayor que la del sustrato, ser capaces de absorber 1,5 L/m<sup>2</sup> de esta, y tener una apertura efectiva de entre 0,06 mm y 0,2 mm<sup>26</sup>.



Fig 2.13: Geotextil de poliéster 200 gr/m<sup>2</sup>.

- **Capas separadoras**

Con el fin de proteger las diferentes capas de posibles daños producidos por acciones mecánicas o por incompatibilidades químicas entre las capas, y para evitar la fusión de diferentes capas lo cual dificultaría una posterior sustitución o mantenimiento, se instalan laminas separadoras entre las diferentes capas que lo necesiten<sup>7</sup>. Estas suelen componerse de geotextiles de entre 2 y 12 mm de grosor similares a los usados como lámina filtrante<sup>19</sup>. Los lugares donde es más común que se usen es entre el soporte y las láminas impermeables cuando estas no vayan adheridas y sobre la impermeabilización.

- **Sustrato**

Se le llama sustrato al medio físico sobre el que crecerá la vegetación, debiendo permitir la penetración y desarrollo de las raíces de las plantas, a las que suministrará de nutrientes, agua y oxígeno. La adecuación de sus propiedades físicas, químicas y biológicas a esta es primordial para el correcto funcionamiento del sistema, las más relevantes en este aspecto son el índice de pH, el porcentaje de materia orgánica que contiene, su granulometría, su profundidad y la capacidad de retención de agua y de aireación. Como parte del sistema constructivo de las cubiertas ajardinadas, el sustrato también debe

cumplir una serie de requisitos en cuanto a su comportamiento, este deberá ser ligero, resistente a las condiciones climáticas, estable, resistente al fuego, con alta conductividad hidráulica (lo cual depende sobre todo de la granulometría) y no deberá contener sustancias químicas que puedan afectar al resto de elementos constructivos.

En función de las capas que compongan el sistema de enraizamiento se podrá distinguir entre soluciones multicapa o de una sola capa, mientras que en la primera las funciones de drenaje, filtración y sustrato se materializan en diferentes capas las cuales cumplen una de estas cada una, en los sistemas de una sola capa es el propio sustrato el que hace a su vez de drenaje y filtro. Esta situación influye en la formulación del sustrato debiendo este adecuarse para que pueda desempeñar estas funciones de forma adecuada.

Lo primero que se deberá tener en cuenta a la hora del diseño de la capa es el **grosor del sustrato** que las plantas requieren para crecer, si se combinan diferentes especies se suele homogeneizar el espesor empelando el de la especie más restrictiva, aunque también se pueden hacer abombamientos puntuales del terreno<sup>8</sup>. El espesor de esta capa nunca deberá ser menor de 7 cm, y a medida que este va aumentando se deberá incrementar del mismo modo el de la capa drenante y ajustar el

contenido de materia orgánica, llegando a recomendarse la diferenciación de subcapas con escasa cantidad de esta a partir de los 35-40 cm, la cual podría producir pudriciones y compactaciones del sustrato no deseadas<sup>24</sup>.

Por otro lado, es importante que el sustrato sea lo más **ligero** posible para evitar transmitir a la estructura cargas muy elevadas, para ello se suelen utilizar materiales muy porosos y granulometrías específicas buscando que el volumen de huecos esté alrededor del 50%, sin embargo, habrá que tener en cuenta que el

momento de más carga será con el sustrato saturado de agua, lo cual aumenta mucho el peso. Además, se deberá asegurar la estabilidad de la capa, instalando protecciones contra la erosión en los bordes afectados por fuertes vientos y contra el deslizamiento en cubiertas inclinadas<sup>8</sup>.

Grosos de la capa de sustrato para distintos grupos de vegetación																					
Grupos de vegetación	Grosor de la capa de sustrato (cm)																				
	6	8	10	12	15	18	20	15	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200
Suculentas	■	■																			
Suculentas y herbáceas perennifolias	■	■	■																		
Suculentas, herbáceas perennifolias y cespitosas			■	■	■																
Herbáceas perennifolias, cespitosas y vivaces			■	■	■	■	■	■	■	■											
Subarbusivas (<1 m)					■	■	■	■	■	■	■	■									
Arbusivas medianas (1-3 m)							■	■	■	■	■	■	■	■							
Arbusivas grandes (>3 m)											■	■	■	■	■	■					
Arbusivas grandes y arboles pequeños (<6 m)														■	■	■	■	■	■	■	
Arboles medianos (6-15 m)																		■	■	■	■
Arboles grandes (>15 m)																				■	■

Tabla 1: Grosos de la capa de sustrato para distintos grupos de vegetación.

◇ *Características agronómicas  
recomendadas*

Según la guía de la FLL y la NTJ 11C los diferentes sustratos deberán poseer las siguientes características agronómicas, las cuales varían ligeramente dependiendo de la tipología de cubierta ajardinada (extensiva – capa de sustrato de entre 7 y 20 cm-, o extensiva – capa de sustrato >20 cm).

La adecuada **granulometría** del sustrato es algo a tener muy en cuenta, ya que es vital para el enraizado de las plantas, la capacidad de absorción de agua, la aireación y la filtración del agua. El contenido de finos ( $d < 0,063$  mm) no deberá superar el 20 % y el 15 % en cubiertas con sistema multicapa de cubiertas intensivas y extensivas respectivamente, y un 10% en sistemas de una sola capa. Por otro lado, el diámetro máximo de partículas será de 12 mm con espesores menores de 10 cm y de 16 mm con espesores de sustrato de más de 10 cm, en todo caso se recomienda que la mayoría de las partículas se encuentre entre los

2 y 4 mm, y en caso de plantaciones de césped que estas no superen los 8 mm<sup>26</sup>.

La norma también limita el **contenido de materia orgánica** que debe tener un sustrato, que, aunque sea vital para el desarrollo de las plantas, su uso en proporciones mayores al 20 % podría suponer el pudrimiento del terreno y el crecimiento descontrolado de las especies plantadas o otras especies que invadan la cubierta, lo que podría ser perjudicial a largo plazo. Los valores deberán ser menores de 90 g/l en cubiertas intensivas multicapa, 65 g/l en extensivas multicapa y 40 g/l en las de una sola capa. Existen excepciones a este límite en situaciones como a la hora de la siembra o cuando se desee instalar un huerto urbano, también se podrá acumular la mayor cantidad materia orgánica en la subcapa superior de los ajardinamientos intensivos, minimizando su uso en la inferior, cuando se haga diferenciación de estas.

Otra de las situaciones que pueden perjudicar al rendimiento de la cubierta ajardinada es la **compactación** del sustrato, la cual se puede

deber a las cargas, la acción del agua o la descomposición de los materiales. En todo caso no deberá ser mayor al 10 % en sustratos de hasta 50 cm de grosor, y de 5 cm en aquellos de mayor espesor.

Una buena **permeabilidad al agua** es esencial para que esta se filtre de forma suficientemente rápida a través del sustrato y no tenga que discurrir por su superficie. Los valores de dicha permeabilidad deberán estar contenidos en sistemas multicapa de ajardinamientos intensivos y extensivos, entre 0,3 y 30 mm/min y 0,6 y 70 mm/min respectivamente, mientras que en sistemas de una capa se situarán entre 60 y 400 mm/min.

La capacidad de retención de agua también es un valor relevante de los sustratos el cual influye en gran medida en la supervivencia de la vegetación. Este se limita en todo caso a un 65 % del volumen para evitar la acumulación de agua, mientras que dependiendo del sistema su límite inferior será del 45 % y 35 % en sistemas multicapa intensivos y extensivos respectivamente, y del 30 % y 20 % en sistemas de una capa con la misma diferenciación. Para alcanzar estos valores tanto de permeabilidad como de retención se busca que el sustrato tenga valores altos de porosidad, alrededor de un 50%.

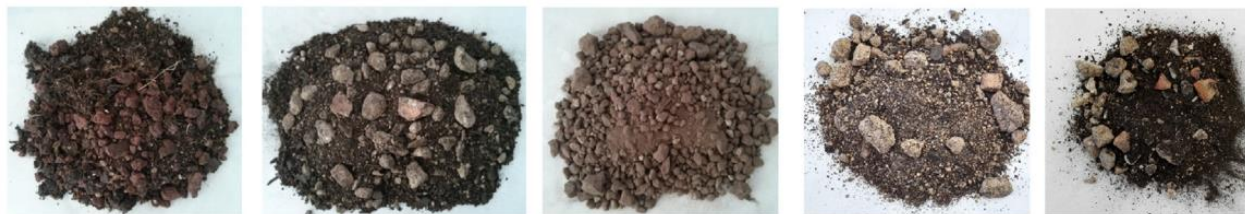


Fig 2.14: Diferentes sustratos comerciales.

El contenido de aire cuando este se encuentra a máxima capacidad de agua no podrá ser nunca inferior al 10 % del volumen para asegurar la correcta aireación de las raíces.

El **valor de pH** del sustrato deberá ser adecuado para el cultivo de la vegetación, diferentes especies pueden requerir de diferentes pH, pero se recomienda que este se sitúe entre los valores 6,0 y 8,5.

La **conductividad eléctrica** del sustrato está también limitada por la norma, deberá ser menor de 2 dS/m en cubiertas ajardinadas intensivas y de 3 dS/m en las extensivas.

El **contenido de nutrientes** de un sustrato también es una característica relevante para el crecimiento de la vegetación, y aunque se recomienda que estos valores se mantengan bajos, el aporte de fertilizantes a largo plazo puede ser necesario en cubiertas con un gran porcentaje de compuestos inorgánicos.

Por último, el sustrato deberá estar libre de **semillas** que puedan dar lugar a la proliferación de vegetación no deseada, y de **impurezas** contaminantes o peligrosos como objetos metálicos, plásticos o cerámicos de más de 6 mm.

Valores recomendados para sustratos de cubiertas ajardinadas				
Propiedades	Extensivas (< 20 cm)		Intensivas (> 20 cm)	
	Una capa	Multicapa	Una capa	Multicapa
<b>Granulometría</b>				
% partículas d < 0,063 mm	< 10	< 10	< 15	< 20
% partículas d > 4 mm	< 75	< 50	< 75	< 40
<b>Materia orgánica</b>				
Contenido en g/l	< 40	< 65	< 40	< 90
<b>Permeabilidad al agua</b>				
(K <sub>f</sub> ) mm/min	60 - 400	0,6 - 70	60 - 400	0,3 - 30
<b>Capacidad de retención de agua</b>				
Mínima (% de volumen)	20	35	30	45
Máxima (% de volumen)	65	65	65	65
<b>Contenido de aire</b>				
Mínimo (% de volumen)	10	10	10	10
<b>pH</b>				
Rango	6 - 8,5	6 - 8,5	6 - 8,5	6 - 8,5
<b>Conductividad eléctrica</b>				
Máxima (dS/m)	3	3	2	2

Tabla 2: Valores recomendados para sustratos de cubiertas ajardinadas.

◇ *Composición*

Para su composición lo más común es mezclar diferentes materiales tanto orgánicos como inorgánicos con el objetivo de que la amalgama resultante tenga las propiedades deseadas, para ello lo más común es usar una base de suelos naturales modificados mediante la agregación de materiales inorgánicos y muy porosos como la piedra pómez, grabas, arena, escoria, perlita, arcilla expandida o ladrillos machacados, cuyos tamaños de partícula rondan en su mayoría los 2 a 4 mm<sup>26</sup>, lo que permite un menor peso, gran porosidad y alta capacidad drenante del sustrato.

También se hace necesario el aporte de cierta cantidad de material orgánico al sustrato como aporte de nutrientes para la vegetación, para ello se utiliza compost o diferentes residuos vegetales que se añaden a la mezcla en cantidades controladas, asegurándose de no superar los límites anteriormente definidos.

Todas estas características y composiciones han sido estudiadas por diferentes autores en los últimos años, los cuales han tratado de optimizar estos para mejorar su rendimiento y particularizarlos para que se adapten a vegetación o climas específicos. Dichos estudios, se estudian y discuten más adelante, en el apartado II.4.2.



• ***Vegetación***

Llegamos en este punto al elemento que define las cubiertas ajardinadas, la vegetación, la cual supone el acabado final y aporta la mayoría de los beneficios que ofrece este sistema. La elección de esta dependerá de condiciones impuestas por el clima, el entorno y el proyecto, pero nunca del sistema constructivo de cubierta, sino que este será el que se adapte para poder dar soporte a las especies vegetales.

Para el correcto funcionamiento de esta la vegetación debe ser capaz de cubrir más del 75 % de la superficie de la cubierta, de otra forma su rendimiento se verá muy reducido, por ello se suelen elegir especies tapizantes. Es también muy importante que esta sea durable, pues la muerte de las plantas resultará en una menor cubrición y por lo tanto la reducción de las prestaciones del sistema, además del coste de sustituirla que se sumará al mantenimiento. Será para ello imprescindible la cuidadosa selección de las especies vegetales y la formulación de un sustrato que cubra sus necesidades y maximice su supervivencia.

*Fig 2.15: Arcilla expandida.*

*Fig 2.16: Ladrillo triturado.*

*Fig 2.17: Compost.*

◇ *Criterios de elección*

El factor más importante que tener en cuenta a la hora de la elección de la vegetación es el **uso** que se le vaya a dar a la cubierta, aquellas cuyo acceso sea solo para mantenimiento no requerirán del uso las mismas especies que las que se vayan a usar para el recreo o como huerto urbano.

Por otro lado, las **condiciones climáticas** como la cantidad de precipitaciones, la temperatura, la radiación solar y el viento deben ser uno de los factores principales a considerar, pues de ello depende en gran medida que la vegetación sea capaz de sobrevivir a lo largo del tiempo, para ello se aconseja el uso de especies autóctonas ya adaptadas a estas condiciones. En el contexto del clima mediterráneo en el cual se centra este trabajo, la vegetación deberá ser capaz de resistir los periodos de sequía, las altas temperaturas del verano, las posibles heladas en invierno. Además, se tendrán en cuenta el microclima de cada cubierta en el cual puede afectar la contaminación de las ciudades (a la cual deberá ser capaz de resistir), salidas de aire caliente o contaminado, la reflexión de la radiación por diferentes superficies y las sombras proyectadas por otros elementos o edificios.

La accesibilidad de la cubierta a la hora de hacer el **mantenimiento** de la vegetación o del sistema constructivo es un factor a tener en cuenta, en cubiertas con difícil acceso se desaconseja la instalación de cubiertas que requieran mucho mantenimiento, solíéndose optar por opciones con ajardinamientos extensivos.

Las relaciones con el **entorno** que desarrollan las especies vegetales es otro de los puntos a tener en cuenta a la hora de su elección. Esta puede formar parte del sistema de corredores y superficies verdes de dentro de las ciudades, el cual puede demandar un tipo de vegetación específica. El diseño de estos espacios en conjunto y la correcta elección de las especies implantadas puede tener un efecto muy beneficioso sobre la biodiversidad de nuestras ciudades.

Por último, otra de las características de la vegetación a tener en cuenta es que algunas especies pueden producir **alergias**, estas deberán evitarse siempre que sea posible.

◇ *Clasificación de especies*

La siguiente clasificación, dada por la NTJ 11C, está basada en las características generales y los usos de las especies vegetales, no en criterios biológicos<sup>24</sup>.

**Suculentas:** Las especies suculentas, sobre todo las del género *Sedum*, son capaces de resistir condiciones extremas de sequía y radiación solar gracias a su capacidad de almacenar agua y reducir la transpiración en situaciones de estrés, requieren muy poco espesor de sustrato, por el cual se extienden muy rápidamente, y pocos nutrientes, pero no son capaces de resistir las pisadas ni el encharcamiento. Todas estas características las hacen idóneas para cubiertas verdes extensivas con acceso solo para mantenimiento<sup>26</sup>.



Fig 2.18: Especie Suculenta. *Sedum Sediforme*.

**Herbáceas perennifolias y cespitosas:** En este grupo se caracteriza por ser perenne, tener aspecto tierno y un porte bajo. La mayoría se reproducen por semilla, son capaces de tapizar con rapidez la superficie del terreno requieren poco aporte nutricional y son capaces de resistir las altas temperaturas. En este grupo se incluyen las gramíneas y las leguminosas.

**Vivaces:** Se trata de plantas herbáceas con follaje caduco y órganos de reserva subterráneos, esto les permite sobrevivir a condiciones extremas de heladas y sequías, pero supone que en ciertas épocas del año no desarrollan su labor como cubierta vegetal. Se recomienda por lo tanto su uso complementario a especies suculentas o herbáceas perennifolias. No requieren de mucho aporte nutricional, son sensibles al estancamiento de agua y suelen tener una floración muy vistosa, lo que las hace muy agradables a la vista.

**Subarbusivas:** Se caracterizan por ser perennes y presentar partes lignificadas al igual que el siguiente grupo, pero conservan un porte inferior a los 100 cm. Son capaces de vivir en condiciones de temperaturas extremas, la sequía, fuertes vientos y escasez de nutrientes.



Fig 2.19: Especie Perennifolia. *Stachys byzantina*.



Fig 2.20: Especie Vivaz. *Iris Lutescens*.

**Arbusivas:** presentan cuerpos leñosos o parcialmente lignificados que no pasan de los 5 m de altura, y pueden ser tanto caducas como perennes. Resisten las altas temperaturas, el viento y requieren poco aporte nutricional.



Fig 2.21: Especie Subarbusiva *Santolina chamaecyparissus*.



Fig 2.22: Especie Arbusiva. *Rosmarinus officinalis*.

**Arbóreas:** en este grupo se incluyen especies leñosas con troncos predominantes; arboles caducos y perennes, y palmeras, de más de 5 m. Son de gran atractivo estético y generan sombras muy agradables, pero requieren de aporte nutricional.



Fig 2.23: Especie Arborea. *Olea europaea*.

#### ◇ *Implantación*

La plantación de la vegetación en las cubiertas ajardinadas se podrá hacer de diferentes formas. Según la NTJ 11C para ello se pueden usar plantas jóvenes, semillas, tapices precultivados, propágulos vegetativos y plántulas, todas ellas deberán cumplir las diferentes normas tecnológicas que rigen las calidades y procedimientos a seguir. Se deberá tener en cuenta la época del año más adecuada para hacerlo

Es posible la plantación de una sola especie vegetal en una cubierta, sin embargo, es aconsejable la combinación de diferentes especies y tipos de vegetación en forma de comunidades que a su vez pueden variar según la zona de la cubierta y su uso, de esta forma es posible adecuarla mejor a los condicionantes. Con esto se consigue incrementar la supervivencia de las plantas y la biodiversidad, lo cual resulta muy deseable.

Se desaconseja el uso de árboles de gran tamaño, con riesgo de rotura, plantas muy sensibles y especies con sistemas radicales de mucha profundidad o axonomorfos.

Una vez estudiadas las características que la vegetación debe presentar se hace necesaria la selección de especies específicas para el proyecto, para ello nos podemos ayudar de los

diferentes listados de referencia que acompañan a la mayoría de las guías existentes y que aportan información sobre las características más relevantes de cada especie. En el ámbito español se recomienda el uso de las NTJ 11C<sup>24</sup> o la Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes del Ayuntamiento de Barcelona<sup>14</sup>.

#### • ***Recogida de aguas***

Como en el resto de los tipos de cubierta, el sistema de recogida de aguas pluviales es un elemento imprescindible y en el que se debe poner especial atención, este se encargará de evacuar el agua excedente de la lluvia que no se pueda acumular en el sistema, evitando así su encharcamiento y posibles derrames o fugas.

Gracias a la capacidad de retener parte del agua de lluvia de las cubiertas ajardinadas, los elementos de desagüe podrán ser menores en número y dimensión que en cubiertas convencionales. Para su dimensionamiento, en consonancia con lo que la guía de la FLL dicta<sup>3</sup>, se podrá utilizar el coeficiente reductor de escorrentía ( $C_s$ ) cuyos valores orientativos aparecen a continuación en la Tabla 3.



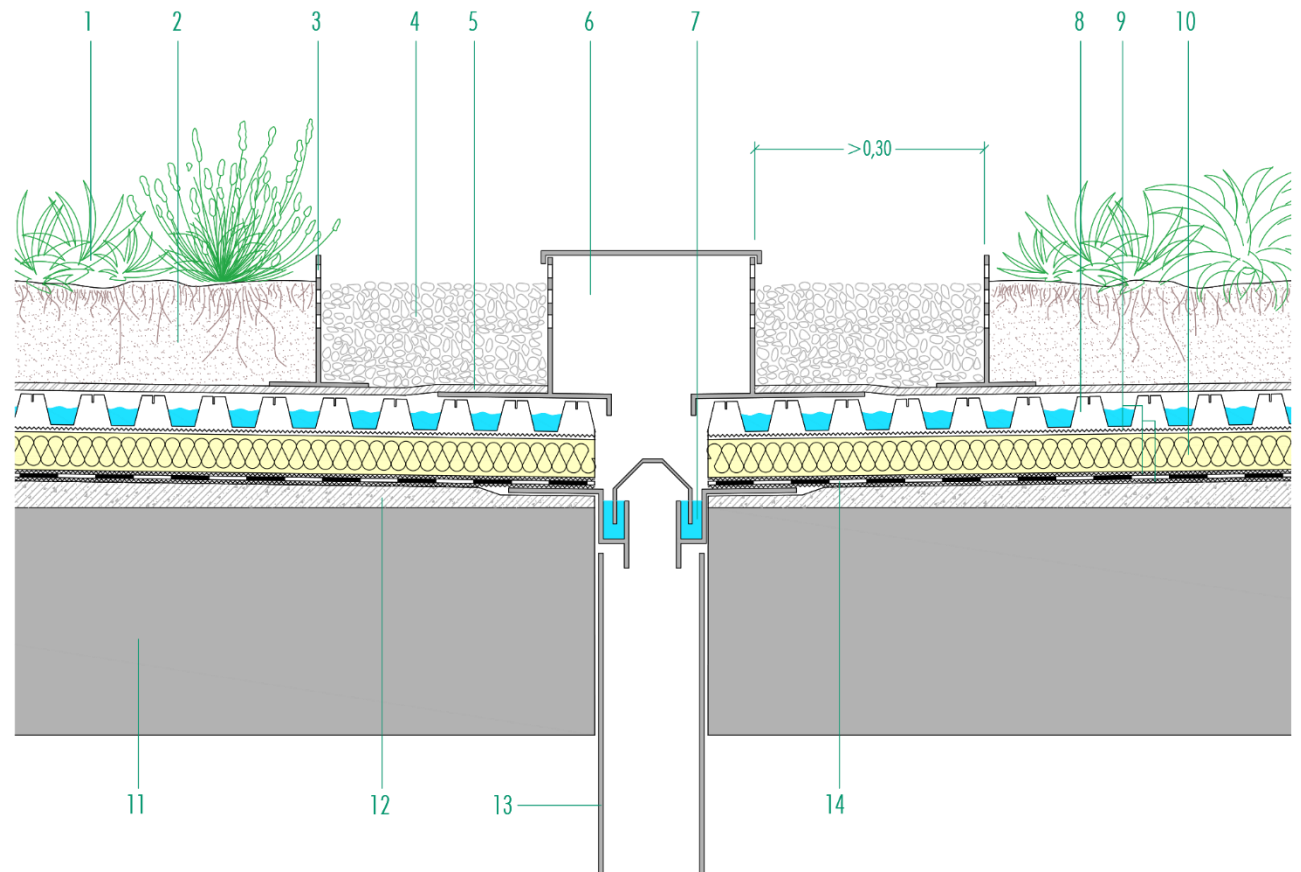
Espesor de sustrato (cm)	Pendiente	
	Hasta 10 %	Mayores 10%
> 50	$C_s = 0,1$	-
25 – 50	$C_s = 0,2$	-
15 – 25	$C_s = 0,3$	-
10 – 15	$C_s = 0,4$	$C_s = 0,5$
6 – 10	$C_s = 0,5$	$C_s = 0,6$
4 – 6	$C_s = 0,6$	$C_s = 0,7$
2 – 4	$C_s = 0,7$	$C_s = 0,8$

Tabla 3: valores orientativos del coeficiente de escorrentía.

A la hora de su ejecución de los sumideros, canaletas y rejillas se deberán seguir las siguientes pautas. No podrán cubrirse de sustrato o grava y deberán ser siempre registrables para poder realizar inspecciones periódicas. Se dejarán franjas de protección de gravas sin vegetación de 30 cm alrededor de estos para evitar que las raíces puedan invadirlos y evitar su correcto funcionamiento. En ajardinamientos intensivos se deberá garantizar la contención del terreno de alrededor de los sumideros. Al menos se colocarán dos elementos de desagüe por seguridad en caso de que uno se obturara.

Se deberá tener especial cuidado en el encuentro con todas las láminas del sistema, especialmente en garantizar la continuidad de las láminas impermeables y por lo tanto la estanqueidad de la cubierta.

Fig 2.24: Encuentro de cubierta ajardinada invertida con sumidero.



- **Protección contra el deslizamiento y la erosión**

En cubiertas con pendiente es necesario asegurar la estabilidad del sistema, lo que incluye tanto la capa de sustrato como las láminas necesarias para su ejecución, para ello se deberá estudiar cada caso y seguir al menos las siguientes medidas de protección. Se recomienda fijar mecánicamente las membranas impermeabilizantes a la base portante cuando se superen los 3°<sup>3</sup>. A partir de los 10° de inclinación se deberá construir un peto fuerte capaz de soportar el empuje del sustrato. Con pendientes de más de 15° se hace necesario colocar protecciones contra la erosión en forma de geomallas o geoesteras. Y más allá de los 20° harán falta barreras antiempuje que aseguren la estabilidad del sistema y se recomienda que la vegetación se plante mediante tapices precultivados.



- **Zonas transitables y pavimentos**

Por razones de uso o de diseño puede existir la necesidad de instalar pavimentos integrados en las cubiertas ajardinadas, sobre todo para facilitar el mantenimiento, en las zonas de acceso y en recorridos. Se pueden usar diferentes sistemas como pavimentos flotantes, solados de losas flotantes u otros propios de las zonas ajardinadas (gravas, cortezas, adoquines, losas...).

En su ejecución deberán tenerse en cuenta las siguientes consideraciones técnicas: su colocación no deberá afectar a la filtración y circulación del agua, debiendo conservarse la lámina drenante siempre que sea posible; no deberán poner en riesgo la estanqueidad del sistema con elemento que puedan causar daños a la impermeabilización; y no se deberá sobrecargar la cubierta.



- **Puntos singulares**

A continuación, se detallan las soluciones de los diferentes encuentros de las cubiertas ajardinadas con elementos propios de la cubierta como son paramentos verticales, juntas de dilatación y elementos pasantes, los cuales requieren tratamientos específicos y diferentes a las cubiertas convencionales a la hora de su ejecución. Estos siguen las prescripciones de la NTJ 11C y el CTE DB-HS (Documento Básico de Salubridad del CTE):

*Fig 2.25: Sistema antideslizamiento Georaster® de ZinCo.*

*Fig 2.26: Pavimento sobre cubierta ajardinada.*

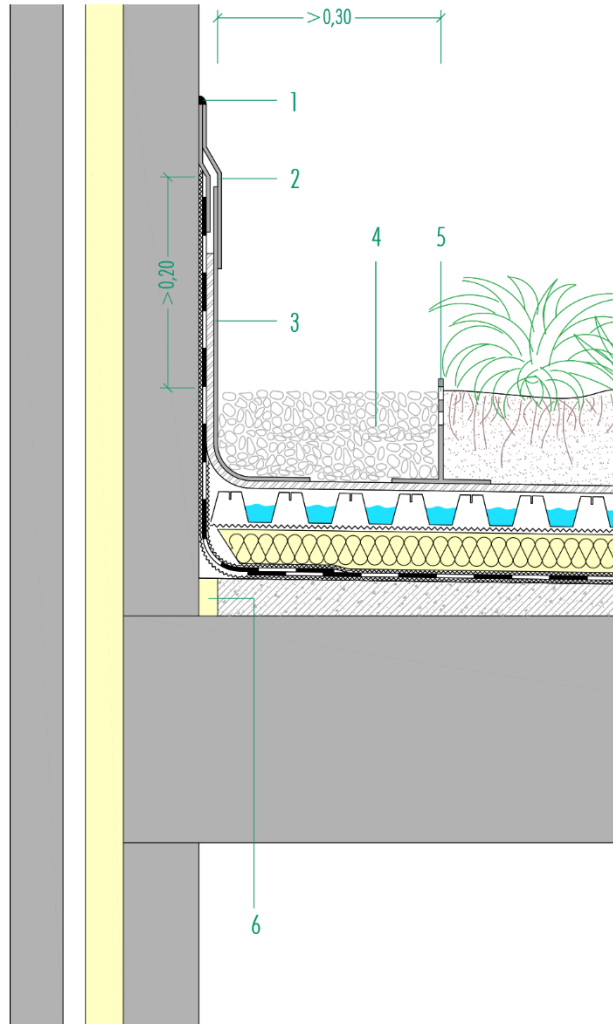


Fig 2.27: Encuentro de cubierta ajardinada invertida con paramento vertical.

◇ *Encuentro con paramentos verticales:*

La membrana impermeabilizante se deberá extender al menos 20 cm en vertical desde la superficie de la cubierta y su borde superior quedará protegido de la entrada de agua por su trasdós. Para evitar el ataque de las raíces a la lámina impermeable se deberá dejar una franja sin vegetación de entre 30 y 50 cm, la cual podrá materializarse mediante gravas o pavimentos, además, las láminas antiraíces y filtrante deberán acompañar a dicha lamina en su ascenso vertical al menos hasta el nivel del sustrato.

- 1.- Sellado
- 2.- Perfil de entrega
- 3.- Perfil protector
- 4.- Gravas
- 5.- Perfil de separación perforado
- 6.- Junta perimetral
- 7.- Cordón de sellado

◇ *Junta de dilatación estructural:*

El paso de la impermeabilización sobre la junta deberá solucionarse de forma adecuada siguiendo las especificaciones técnicas de la lámina colocada y asegurando la estanqueidad del sistema. La capa filtrante y drenante, al igual que el aislamiento térmico, no se verán interrumpidos por la junta siempre que no vayan adheridos y puedan moverse libremente.

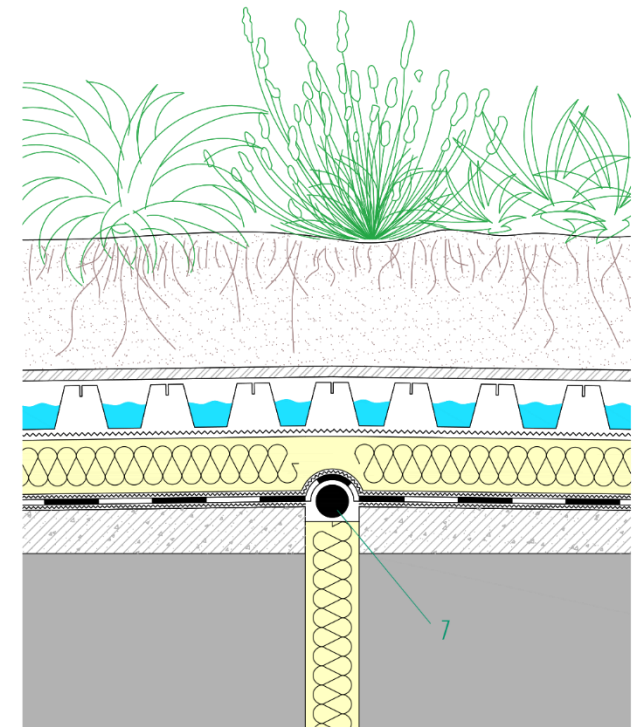


Fig 2.28: Junta de dilatación en cubierta ajardinada.

◇ *Elementos pasantes:*

Al igual que en el encuentro con paramentos verticales, se deberá asegurar la estanqueidad de la impermeabilización extendiendo esta 20 cm por encima del nivel del sustrato, y se dejarán 30 cm sin vegetación alrededor de los elementos.

### II.2.3. Riego

Conceptualmente, las cubiertas ajardinadas se diseñan para no requerir del riego a lo largo de su vida, sin embargo, existen varias circunstancias por las que este se hace necesario, como los periodos de plantación o las temporadas de sequía, o si se busca un mayor control de las condiciones en las que se desarrolla la vegetación. Esto se acentúa en climas como el mediterráneo, donde las altas temperaturas y las escasas precipitaciones de los meses de verano hacen imprescindible la instalación de sistemas de riego para asegurar la supervivencia de la vegetación.

Sin embargo, el riego no solo puede favorecer la supervivencia de las plantas, García, J.<sup>8</sup> estudió como la disponibilidad de agua influía en la evapotranspiración de la vegetación, produciendo efectos térmicos favorables tanto para el ambiente como para el edificio. Concluyo que el ahorro energético del edificio aumentaba un 5,33 % en cubiertas extensivas

y un 9,01 % en intensivas con riego respecto a modelos sin riego.

A la hora de calcular las necesidades hídricas de la vegetación se diferenciarán entre las diferentes épocas del año, y deberán tenerse en cuenta los siguientes factores: la temperatura y exposición a la radiación solar, la cantidad de precipitaciones a lo largo del año, la vegetación y sus necesidades hídricas, y el sustrato y su capacidad de retención de agua. Se deberá ajustar de forma correcta la cantidad de agua suministrada, puesto que tanto una falta como un exceso de esta sería perjudicial para las plantas.

Se recomienda el uso de sistemas de goteo tanto en cubiertas planas como inclinadas, estos admiten diferentes posibilidades, como su instalación superficial o enterrada, y la utilización de programadores automáticos, que facilitan y optimizan mucho las labores de riego. Es posible también la instalación de sensores de lluvia y humedad, lo cual permite ajustar mucho mejor el agua que el sistema necesita<sup>14</sup>.

Otra de las posibilidades a estudiar es el aprovechamiento del agua de lluvia para el riego, o la recuperación de las aguas grises del edificio mediante la depuración y para el mismo fin.

Por último, a las demás tareas de mantenimiento de la cubierta habrá que añadirles las propias del sistema de riego que se instale.

### II.2.4. Mantenimiento

El mantenimiento de cualquier parte de un edificio es clave, al igual que una buena ejecución del mismo, a la hora de garantizar su durabilidad. En el caso de las cubiertas ajardinadas, este se hace aún más esencial debido a la gran cantidad de elementos diferentes que conforman el sistema, y sobre todo a la necesidad de controlar el crecimiento de las plantas, lo cual es esencial para optimizar todas sus prestaciones. Las operaciones de mantenimiento se deberán tener en cuenta desde la fase de diseño, pues su coste o imposiciones podrán afectar a este, y mientras que algunas son comunes a todos los tipos de ajardinamiento, otras dependen mucho de la vegetación implantada, es por eso por lo que las dividiremos en dos grupos.

- **Mantenimiento de la vegetación**

Dependerá del sistema de ajardinamiento y las necesidades de la vegetación, pudiendo ser este desde casi nulo en cubiertas extensivas hasta muy elevado en algunas cubiertas intensivas. Las actividades propias de este mantenimiento son la siega, poda y resiembra de la vegetación, eliminación de plagas y malas hiervas, fertilización, control de los anclajes, y el posible riego necesario que ya se menciona en el apartado anterior. Será necesario en este caso el estudio de las necesidades de la vegetación de cada proyecto para adaptar todas estas operaciones a la intensidad que esta requiera<sup>24</sup>.

- **Mantenimiento de la cubierta**

Este hace referencia al mantenimiento de todo el resto de los elementos de la cubierta, desde el propio sistema constructivo, hasta las instalaciones y mobiliario. Estas actividades son comunes a todas las tipologías de cubierta ajardinada, aunque pueden variar ligeramente según el proyecto. Se realizarán visitas técnicas periódicas para la inspección de los elementos constructivos al menos dos veces al año.

La siguiente tabla organiza las diferentes tareas de mantenimiento según su periodicidad y los elementos a los que afecta<sup>14</sup>.

Mantenimiento de la cubierta ajardinada		
Frecuencia	Elementos	Operaciones de mantenimiento
<b>Semanalmente</b>	Cubierta general	Limpieza general (transitable)
<b>Cada tres meses</b>	Instalaciones	Limpieza y revisión de los elementos de recogida de aguas, la iluminación y otras instalaciones. Inspección y regulación del sistema de riego.
	Vegetación	Control de plagas y enfermedades. Resiembra de la vegetación en mal estado.
<b>Dos veces al año</b>	Elementos constructivos	Inspección técnica y reparaciones necesarias. Revisión de las fijaciones. Búsqueda de posibles filtraciones desde el interior.
	Mobiliario y elementos auxiliares	Limpieza, inspección y conservación.
	Vegetación	Poda, siegas y fertilización. Comprobar que no se produzcan encharcamientos.
<b>Una vez al año</b>	Cubierta general	Limpieza general (no transitable)
<b>Cada diez años</b>	Elementos constructivos	Revisión y renovación si es necesario de la impermeabilización, la protección antirraíces y el sistema de drenaje
<b>Cada veinte años</b>	Elementos constructivos	Inspección técnica general

Tabla 4: Tareas de mantenimiento de las cubiertas ajardinadas.

## II.2.5. Seguridad

Es esencial que las cubiertas ajardinadas sean seguras tanto para los trabajadores que las construyen y hacen su mantenimiento, como para las personas que la usan o habitan en su proximidad. Para garantizar que se cumplen estas condiciones y evitar cualquier riesgo para las personas se deberán tomar una serie de medidas preventivas que se deberán tener en consideración en el proyecto. Estas se pueden dividir en los siguientes apartados.

- Seguridad de uso y accesibilidad

Las cubiertas ajardinadas, sobre todo si son accesibles, deben ser seguras para el uso de los habitantes del edificio, por ello, deberán cumplir toda la normativa referente a ello, destacando el CTE DB-SUA. Se deberá considerar el riesgo de caída, instalando las barreras necesarias; la accesibilidad de las personas con discapacidad; la protección contra rayos; y los recorridos de evacuación entre otras cosas.

- Prevención de riesgos laborales

La prevención de riesgos laborales se basa en intentar evitar todas aquellas circunstancias que puedan suponer un riesgo para la salud de los trabajadores, y en caso de que no se puedan evitar, establecer una serie de medidas

que reduzcan dicho riesgo. En este aspecto se deberán tomar las medidas necesarias, al igual que en cualquier otro tipo de cubierta, para garantizar la seguridad de los trabajadores tanto durante la construcción como el mantenimiento de la cubierta.

Algunas de las medidas específicas de las cubiertas ajardinadas son: aquellas que garanticen la seguridad durante los trabajos de mantenimiento de la vegetación, sobre todo si son en altura, las cuales son equivalentes a las tomadas en cualquier otro tipo de jardín; o la instalación de líneas de vida en aquellas cubiertas planas no transitables sin borde o inclinadas, el cual deberá estar debidamente amarrado<sup>24</sup>.

- Diseño seguro de especies arbóreas

Al implantar especies arbóreas en cubiertas ajardinadas se genera el riesgo de que estos, o partes de estos, puedan caer lo que supone un peligro tanto para los usuarios de la azotea como para los peatones que circulan por la calle. Para evitar esta situación deben tomarse una serie de medidas: No se deberán plantar árboles a menos de 5 m del borde de la cubierta, se evitarán especies de mucha envergadura, se deberá hacer un mantenimiento continuo de los mismos, y como norma general no podrán ser más altos que la distancia que los separe del borde ni sus ramas podrán sobresalir sobre este<sup>27</sup>.

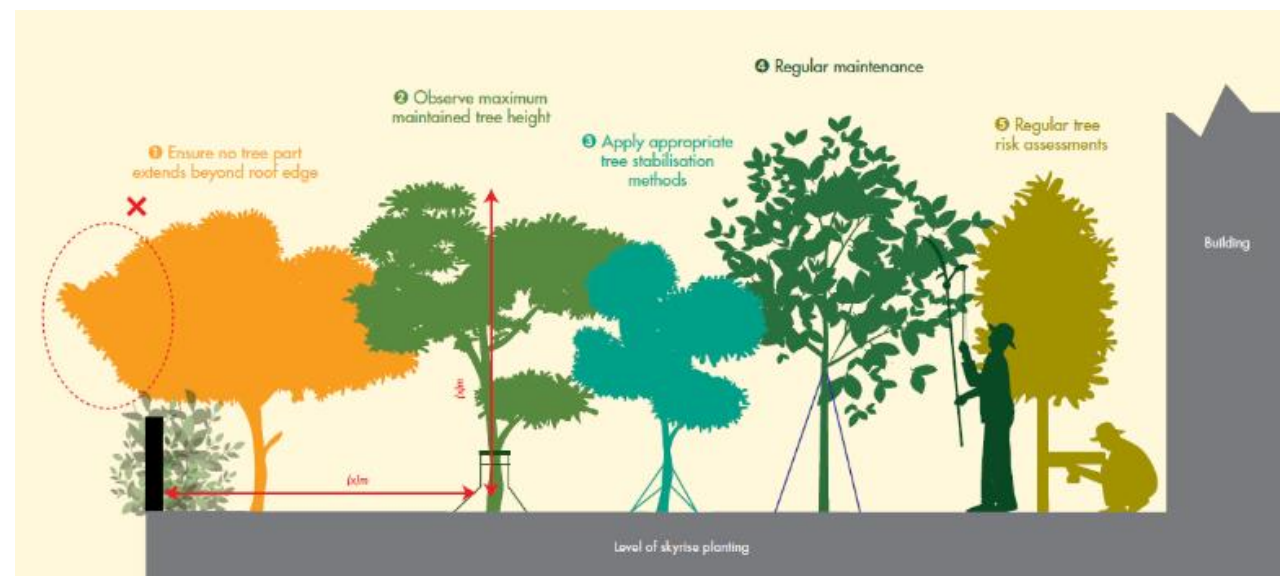


Fig 2.29: Medidas de seguridad a tomar si se planta una especie arbórea.

Todos los árboles deberán estar debidamente anclados y estabilizados en el sustrato para evitar su vuelco debido a la acción del viento. Se podrán usar tanto tutores como sujeciones amarradas en la parte aérea de la planta o en su bulbo de enraizado. Deberán estar correctamente dimensionadas y anclarse sin perforar las láminas impermeabilizantes, para ello se podrán usar bancadas colocadas sobre estas o mallas metálicas colocadas en la capa drenante, siendo el propio peso del sustrato el que absorberá el esfuerzo<sup>24</sup>.

- Protección contra incendios

En cuanto a la protección contra incendios, más allá de cumplir la normativa vigente (CTE DB-SI) de Seguridad en caso de Incendio, se deberá tener cuidado de la capacidad combustible de la vegetación. Si bien es verdad que la vegetación verde y viva es prácticamente incombustible debido a la gran cantidad de agua que almacena, se deberá retirar inmediatamente toda la materia seca o muerta que se pueda acumular, así como las hojas caídas<sup>24</sup>.



*Fig 2.30: Ejemplo de cubierta ajardinada.*

### II.3. Tipologías de cubierta ajardinada

Las cubiertas ajardinadas se dividen en diferentes tipologías diferenciadas entre ellas por el uso que se les da y por el tipo de vegetación que son capaces de acoger, esta segunda siendo normalmente función del espesor de la capa de sustrato. A continuación, basándose principalmente en los datos de la *Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes* del Ayuntamiento de Barcelona<sup>14</sup>, se describe el funcionamiento y las características propias de cada una de ellas, de las cuales dependerá la elección de una u otra dependiendo de las funciones que desempeñen dentro del proyecto.

Fig 2.31: Diagramas representativos de los tipos de cubierta ajardinada.





### II.3.1. Extensiva

Las cubiertas ajardinadas extensivas se caracterizan por la poca profundidad de la capa de sustrato, lo que limita mucho el tipo de especies vegetales que pueden crecer en él, pero permite trabajar con pesos muy reducidos, esto las hace ideales para proyectos de rehabilitación y mejora de edificios ya construidos.

- **Sustrato:** el espesor del sustrato oscila entre los 8 y 15 cm, aunque para el clima mediterráneo no se recomienda que sea inferior a 10 cm. Este suele ser mineral y muy poroso.
- **Vegetación:** especies suculentas (la gran mayoría del género *Sedum*), herbáceas perennifolias, gramíneas, bulbosas y vivaces. Deben ser capaces de soportar la sequía.
- **Peso:** entre 120 y 250 kg/m<sup>2</sup>.

- **Riego:** necesario durante la plantación y épocas de sequía.
- **Mantenimiento:** Bajo. Se requiere del mantenimiento propio del sistema de evacuación de aguas, el riego cuando sea necesario y asegurar la supervivencia de la vegetación, replantando si es necesario.
- **Particularidades constructivas:** debido al poco espesor del sustrato la vegetación se enfrenta a condiciones extremas en las cuales tanto el encharcamiento como la desecación del sustrato ocurren de forma muy rápida, para su supervivencia se debe asegurar un buen drenaje, usando para ello pendientes de al menos un 2 %, pudiendo llegar esta a ser de hasta un 100 %, y a su vez la retención de la máxima cantidad de agua posible, por lo que se recomienda que la placa drenante sirva a su vez de almacén de agua.
- **Coste orientativo:** entre 70 y 90 €/m<sup>2</sup>.

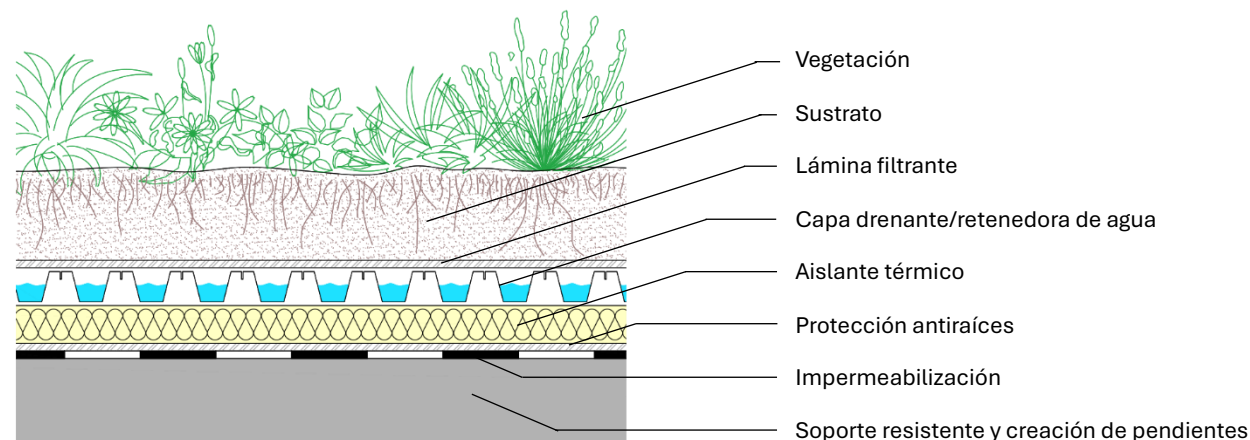
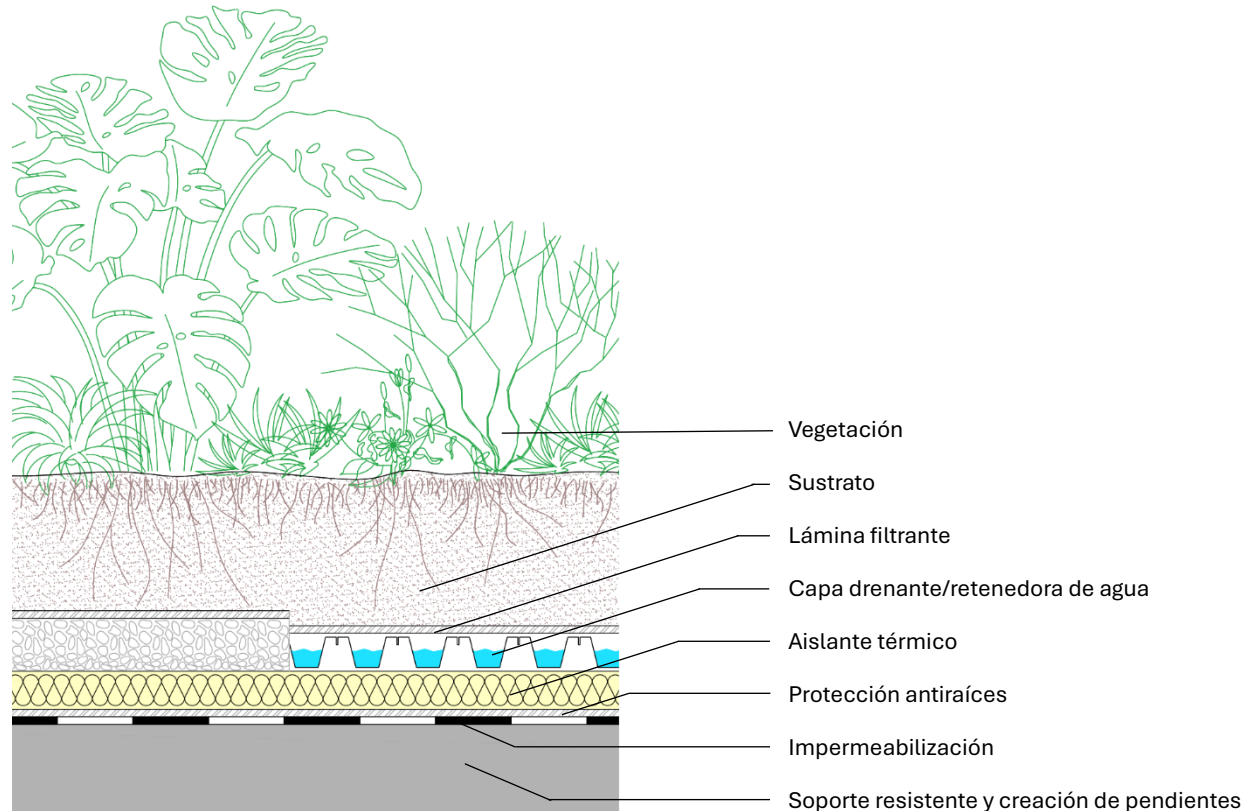


Fig 2.32: Esquema representativo de una cubierta ajardinada extensiva.

### II.3.2. Semi-intensiva

Al aumentar ligeramente el espesor de la capa de sustrato, las cubiertas ajardinadas semi-intensivas permiten la implantación de especies vegetales de porte algo superior a la de las extensivas, gracias a esto se pueden crear diseños más elaborados de la vegetación con acabados estéticos agradables. Ofrecen mejores beneficios térmicos y son adecuadas para el uso recreativo o el aumento de la biodiversidad.



- **Sustrato:** el espesor del sustrato oscila entre los 15 y 30 cm. Este suele ser poroso y mayoritariamente mineral, aunque el contenido de materia orgánica será mayor que en cubiertas extensivas.
- **Vegetación:** especies herbáceas perennifolias, gramíneas, bulbosas, cespitosas, vivaces y arbustivas de porte bajo. Estas no deberán superar el metro de altura.
- **Peso:** entre 150 y 450 kg/m<sup>2</sup>.
- **Riego:** estas cubiertas requieren muy poca agua, pero en épocas de sequía sigue siendo necesario el riego periódico. Se recomiendan sistemas de goteo.
- **Mantenimiento:** Moderado. A parte del mantenimiento propio del sistema de evacuación de aguas y el riego cuando sea necesario, dependiendo de las especies plantadas podrá ser necesario el control de estas.
- **Particularidades constructivas:** Al igual que las cubiertas extensivas, es importante el almacenamiento del agua para reducir al máximo el riego necesario, para ello se aconseja el uso de placas drenantes cumplan a su vez esta función, estas serán de mayor grosor, aproximadamente 4 cm; y en caso de emplear materiales granulares su espesor será de al menos 6 cm. Para asegurar un buen drenaje, la pendiente será de al menos un 2 %, pudiendo llegar hasta un 60 %.
- **Coste orientativo:** entre 90 y 130 €/m<sup>2</sup>.

Fig 2.33: Esquema representativo de una cubierta ajardinada semi-intensiva.

### II.3.3. Intensiva

El considerable espesor de sustrato en las cubiertas ajardinadas intensivas permite plantar todo tipo de especies vegetales, asemejándose a jardines convencionales al nivel del suelo. Estas suelen ser transitables y pueden albergar espacios para el ocio e instalaciones recreativas como pérgolas, iluminación, zonas de descanso, láminas de agua, juegos infantiles y todo tipo de mobiliario urbano.

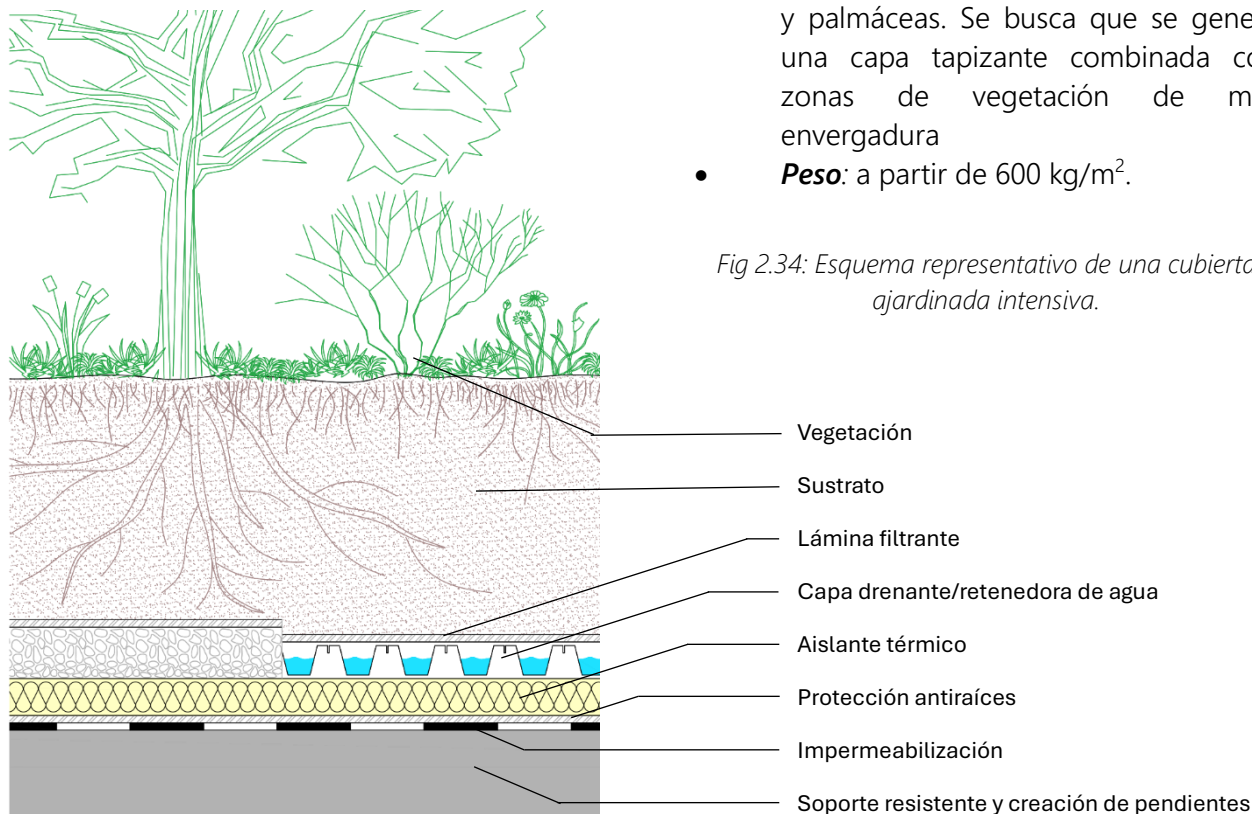


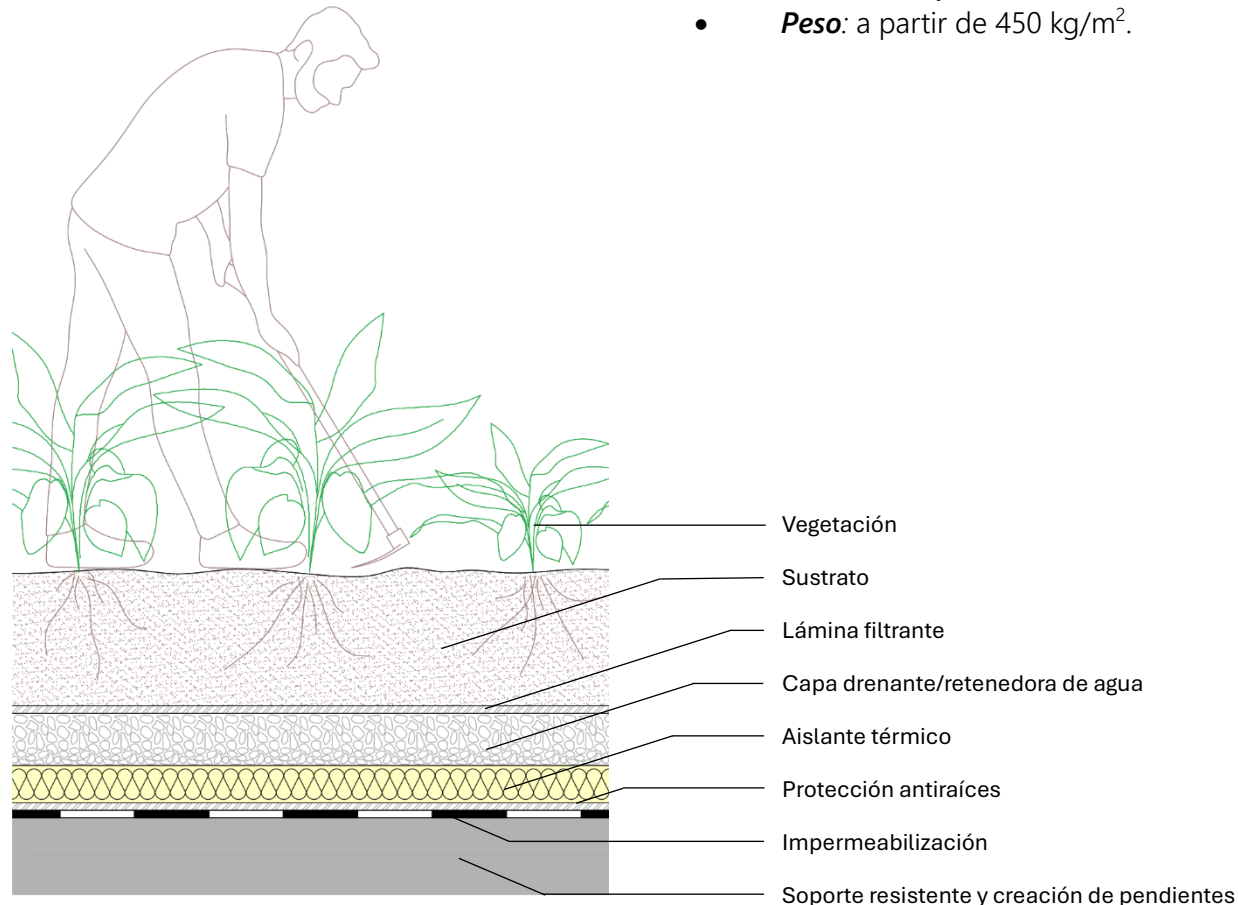
Fig 2.34: Esquema representativo de una cubierta ajardinada intensiva.

- **Sustrato:** supera los 30 cm de espesor. Se requieren cantidades importantes de nutrientes para satisfacer los requerimientos de la vegetación, por lo que se recomienda la estratificación del sustrato en diferentes capas, la superior con altas contenido en materia orgánica, y la inferior más pobre y porosa.
- **Vegetación:** especies herbáceas perennifolias, gramíneas, bulbosas, cespitosas, vivaces, arbustivas, arbóreas y palmáceas. Se busca que se genere una capa tapizante combinada con zonas de vegetación de más envergadura
- **Peso:** a partir de 600 kg/m<sup>2</sup>.

- **Riego:** las necesidades de riego dependerán de las necesidades de la vegetación. Se recomienda la instalación de bocas de agua como si de un jardín se tratara para la limpieza de pavimentos y mobiliario.
- **Mantenimiento:** Elevado. En función de las especies vegetales se requerirá de un mantenimiento más o menos elevado, entre las operaciones a realizar se encuentran la limpieza, mantenimiento de instalaciones y mobiliario, riego, poda, aportación de fertilizantes y control de plagas.
- **Particularidades constructivas:** Al incrementar el espesor del sustrato, la capa filtrante deberá ser más gruesa y resistente, las láminas plásticas deberán tener al menos 6 cm; y en caso de emplear materiales granulares su espesor será de al menos 10 cm. Para asegurar un buen drenaje, la pendiente será de al menos un 2 %, siendo el máximo con el que se puede instalar este tipo un 10 %. En esta tipología se podrá prescindir de la capa de aislamiento térmico gracias a la capacidad aislante del sustrato.
- **Coste orientativo:** más de 150 €/m<sup>2</sup>, dependerá mucho de la profundidad del sustrato, pero, sobre todo, de las instalaciones colocadas.

### II.3.4. Huerto

Se llama cubierta huerto a aquella cubierta ajardinada destinada a la producción de alimentos. Se considera un sistema intensivo debido tanto al mantenimiento que requieren como a los espesores de sustrato que se suelen necesitar. Se podrán diseñar con toda la superficie destinada para el cultivo, o se podrán usar jardineras específicas para ello.

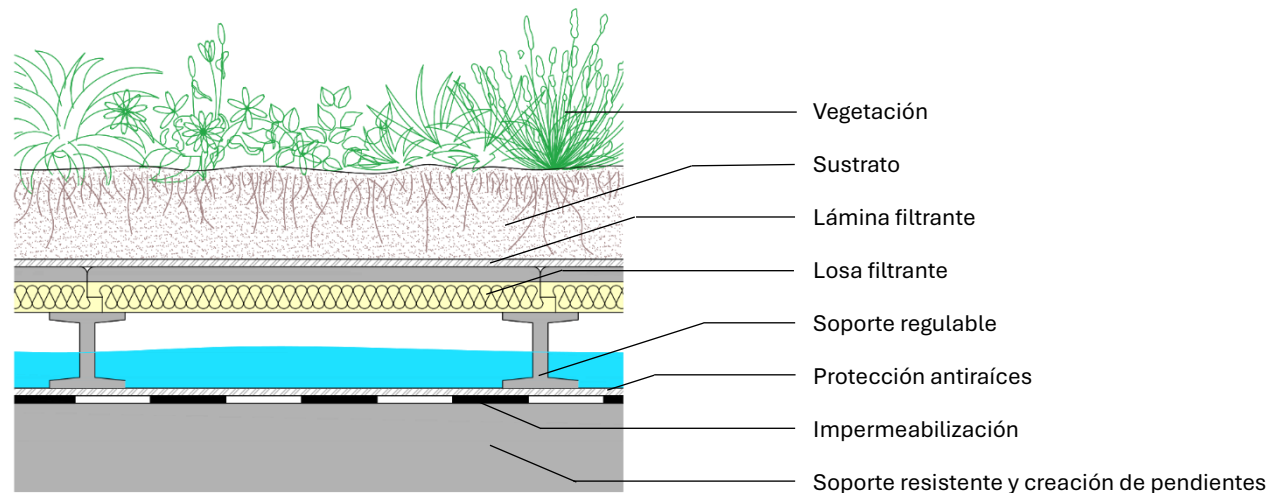


- **Riego:** la cantidad de agua a aportar dependerá mucho de las necesidades de la vegetación, pero será necesaria prácticamente en todos los casos. Se recomiendan sistemas de goteo que se puedan adaptar a las diferentes rotaciones de los cultivos.
- **Mantenimiento:** Elevado. A parte del mantenimiento propio del sistema de evacuación de aguas y el riego cuando sea necesario, serán necesarias todas las tareas derivadas del uso como huerto.
- **Particularidades constructivas:** Siguen los mismos principios que las cubiertas intensivas. Se tendrá que poner especial atención a las necesidades derivadas del uso como huerto, entre ellas la creación de caminos de acceso, de espacios de almacenaje de herramientas y materiales y de zonas de descanso, además de la instalación de bocas de riego.
- **Coste orientativo:** aproximadamente 120 €/m<sup>2</sup>, pero puede variar dependiendo de la profundidad del sustrato.

Fig 2.35: Esquema representativo de una cubierta ajardinada huerto.

### II.3.5. Aljibe

La cubierta ajardinada aljibe surge de la combinación de estas dos tipologías, una cubierta aljibe y una ajardinada. Para ello se construye una cubierta de pendiente cero sobre la que se instala la cubierta ajardinada, dejando un espacio destinado para el almacenamiento del agua que se filtrará a través de ella. el agua acumulada sirve como reserva puede servir tanto para abastecer sistemas del edificio como para humedecer el sustrato, bien sea por sistemas de capilaridad o de riego, ayudando a su supervivencia en épocas de sequía.

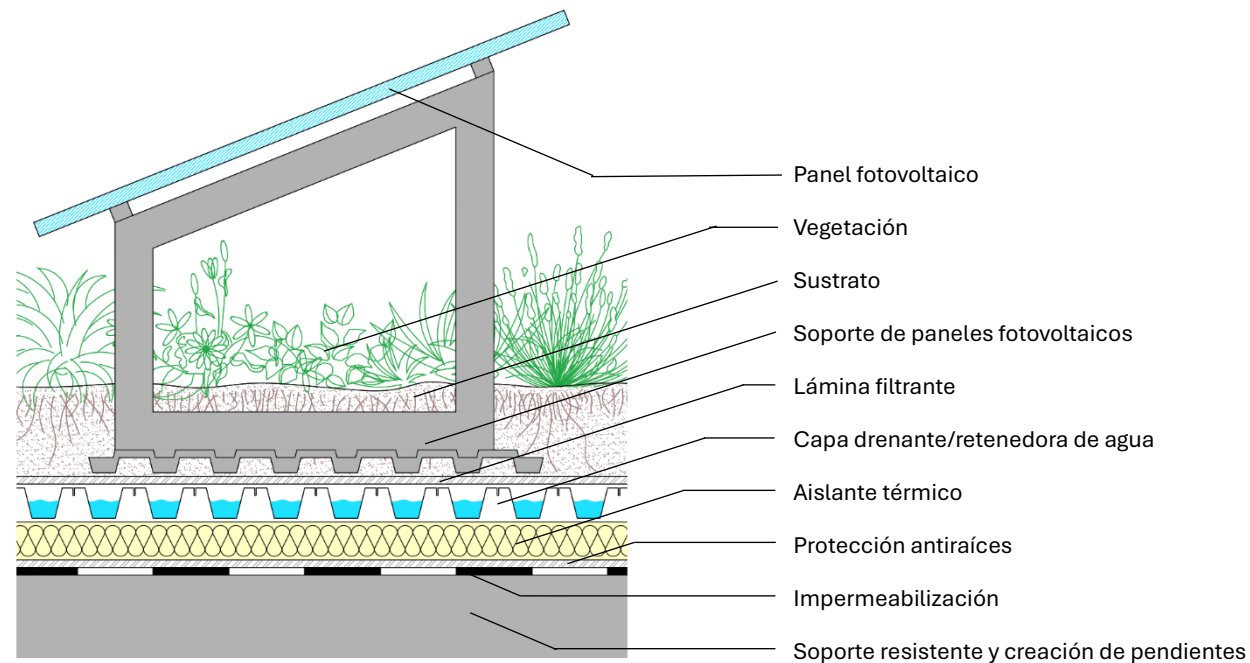


- **Sustrato:** según el tipo de ajardinamiento.
- **Vegetación:** según el tipo de ajardinamiento.
- **Peso:** se le sumará al peso del sistema de cubierta ajardinada el del depósito de agua en su máxima capacidad.
- **Riego:** si el aporte del aljibe no es suficiente se deberá regar.
- **Mantenimiento:** A parte de las labores propias del sistema de cubierta ajardinada, se deberá evitar la proliferación de algas y bacterias en el agua acumulada.
- **Particularidades constructivas:** para su construcción se coloca un pavimento flotante de losas filtrantes colocadas sobre soportes regulables que se asientan en la superficie, completamente impermeable y protegida contra las raíces, del aljibe de pendiente 0, y sobre este se instalan las capas de drenaje, filtro y sustrato en las que se desarrollará la vegetación.
- **Coste orientativo:** más de 90 €/m<sup>2</sup>, depende mucho de la capacidad de almacenaje del aljibe y el tipo de ajardinamiento.

Fig 2.36: Esquema representativo de una cubierta ajardinada aljibe.

### II.3.6. Generadora de energía

En este tipo de cubiertas se combina el sistema de cubierta ajardinada junto con la instalación de paneles solares fotovoltaicos o térmicos, los cuales permiten captar parte de la radiación solar que incide sobre la cubierta transformándola en energía que se aprovecha en el edificio. De esta convivencia nace una simbiosis en la cual los dos sistemas se ven beneficiados, la vegetación por la sombra de los paneles, y los paneles por el enfriamiento que aporta la vegetación.



- **Sustrato:** suelen instalarse en sobre ajardinamientos extensivos, ya que las plantas de gran envergadura podrían generar sombras indeseadas sobre los paneles.
- **Vegetación:** de porte bajo para que no creen sombras sobre los paneles.
- **Peso:** el del sistema de cubierta ajardinada instalado más el añadido por los paneles.
- **Riego:** el requerido por el ajardinamiento.
- **Mantenimiento:** en función del sistema de ajardinamiento.
- **Particularidades constructivas:** A la hora de instalar los paneles, estos se podrán colocar de diferentes formas: directamente sobre el soporte resistente, pero supone perforar las láminas de cubierta; sobre un porche o pérgola, lo que aumenta el coste económico considerablemente; o sobre las láminas propias del sistema de cubierta mediante bases preparadas para ello, las cuales son estables gracias al peso del sustrato y no perforan dichas láminas
- **Coste orientativo:** aproximadamente 450 €/m<sup>2</sup> más el ajardinamiento<sup>8</sup>.

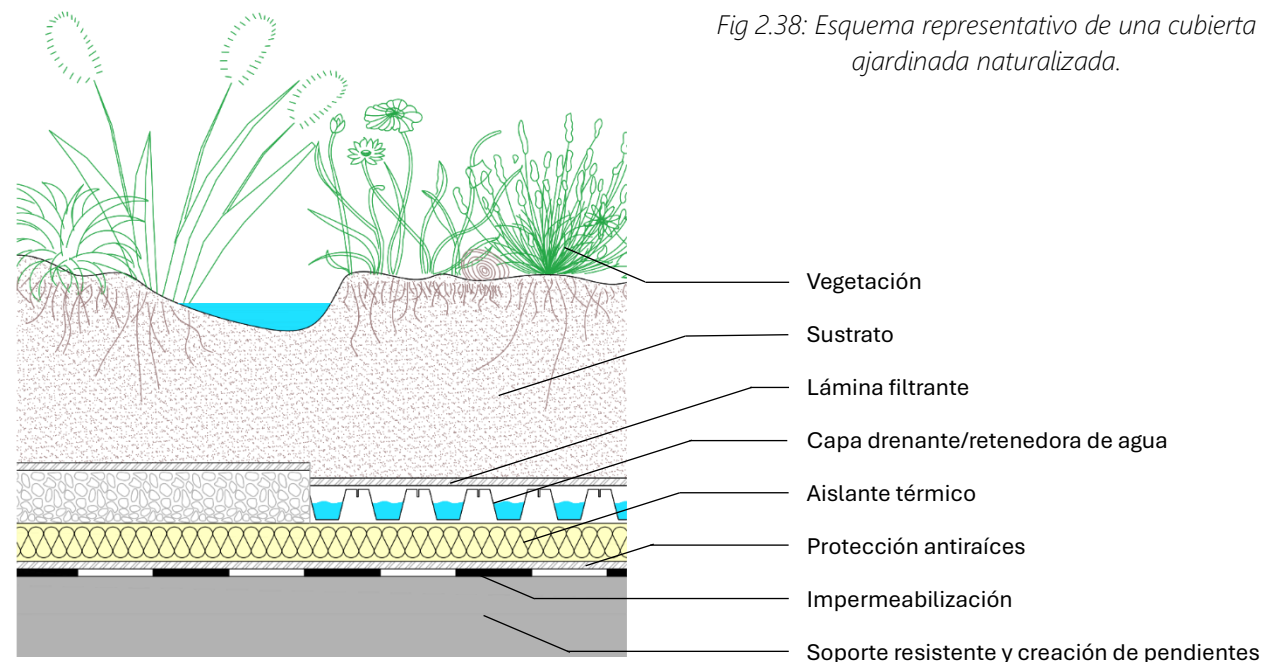
Fig 2.37: Esquema representativo de una cubierta ajardinada generadora de energía.

### II.3.7. Naturalizadas

La cubierta ajardinada naturalizada o biodiversa es una variante de la tipología semi-intensiva la cual se diseña con el principal objetivo de fomentar la biodiversidad, recreando para ello un hábitat lo más natural posible que facilite su colonización por parte de la flora y fauna local. Son cubiertas que funcionan mejor si no son transitables, ya que la presencia de personas puede afectar a los animales que las habiten.

- **Sustrato:** el espesor del sustrato oscila entre los 15 y 30 cm, pudiendo hacerse una distribución variable del mismo. Se recomienda que parte del sustrato esté formado por tierra natural de zonas cercanas, el cual se mezclará con otros materiales para que este siga cumpliendo las características técnicas recomendadas. El contenido orgánico podrá ser mayor al límite habitual y su distribución no tiene por qué ser homogénea.
- **Peso:** entre 200 y 450 kg/m<sup>2</sup>.
- **Coste orientativo:** entre 90 y 130 €/m<sup>2</sup>.

- **Vegetación:** especies herbáceas perennifolias, gramíneas, bulbosas, cespitosas vivaces y arbustivas de porte bajo. Se deben utilizar especies autóctonas formando comunidades con gran variedad de estas. Se podrán escoger especies específicas para potenciar el sustento a diferentes especies como pueden ser abejas o mariposas. Con el tiempo es posible la aparición de nuevas especies que llegaran a formar parte del bioma de la cubierta.
- **Riego:** igual al de las cubiertas semi-intensivas.
- **Mantenimiento:** Bajo. Se limita al mantenimiento propio del sistema, el control del riego y la comprobación de la supervivencia de las especies.
- **Particularidades constructivas:** Se deberá tener en cuenta las mismas consideraciones que en las cubiertas semi-intensivas. Además, se recomienda la distribución del sustrato de forma no uniforme y homogénea, y la incorporación de elementos de refugio para la fauna como son los troncos y ramas en descomposición, piedras o cajas nido especialmente fabricadas para ello. Es posible su combinación con la tipología generadora de energía.



Cabe destacar que no solo esta tipología de cubierta ajardinada es capaz de incrementar la biodiversidad de nuestras ciudades, todas ellas, con la correcta ejecución y mantenimiento lo son. Y aunque está demostrado que este efecto es mayor si la vegetación se encuentra a nivel del terreno, su aportación no es para nada descartable, pudiendo estas cubiertas dar cobijo a gran variedad de especies y jugar un papel muy relevante en la creación de corredores de unión entre diferentes espacios verdes dentro de las ciudades. Ejemplo de ello son las cuatro cubiertas ajardinadas de la planta de tratamiento de aguas Wollishofen en Zurich construidas hace 90 años, las cuales, a pesar de no haber sido concebidas para ello, hoy en día dan refugio a 175 especies vegetales, algunas de ellas especies amenazadas de orquídeas<sup>20</sup>.

Es por ello que a pesar de que pueda no ser el principal objetivo del proyecto, o no sea la razón por la que se elija construir una cubierta ajardinada, no se deberá dejar de lado el efecto que esta tiene en la biodiversidad de su entorno, debiéndose tener en cuenta durante el diseño del edificio, pues, aunque se ideen como sistemas cerrados, la realidad es que no lo son.

*Fig 2.39: Ejemplo de cubierta ajardinada naturalizada.*





## **II.4. Revisión de la literatura relacionada con el desarrollo de la vegetación en cubiertas ajardinadas en el clima mediterráneo**

Siendo el principal objetivo de este trabajo el tratar de encontrar la fórmula óptima para el desarrollo de una capa vegetal en las cubiertas ajardinadas durable y diversa, los cuales, como ya hemos visto, son factores clave para alcanzar el máximo rendimiento del sistema, se hace imprescindible la revisión de los últimos avances en este campo proporcionados por las investigaciones y estudios realizados por diversos autores.

Dichas cualidades dependen no solo de las propias especies implantadas, sino también de la capacidad del sustrato para sostener la vida de las mismas, a las cuales aporta el sustento, los nutrientes y el agua que necesitan para desarrollarse. Es por eso que a continuación se estudia la diferente literatura relacionada con estos temas y contextualizada en el clima en el que nos encontramos, el mediterráneo.

### **II.4.1. Sobre el sustrato y riego**

Los sustratos de las cubiertas ajardinadas se suelen componer de mezclas bien definidas de varios materiales, tanto orgánicos como inorgánicos, con diferentes propiedades las

cuales se diseñan para que cumplan las características recomendadas por la FLL y la NTJ 11C. Existen marcas comerciales que los distribuyen ya correctamente dosificados y adaptados a diferentes climas y vegetación, sin embargo, es posible realizar tales mezclas manufacturadas por los instaladores del sistema siguiendo las guías anteriormente citadas, esto permite su mejor adaptación a las necesidades del proyecto.

La parte inorgánica, que suele representar entre el 50 y 90 % del sustrato (normalmente entorno al 80 %), suele estar formada por: minerales naturales, como arena, y piedra pómez; minerales modificados como arcilla expandida, perlita, vermiculita y lana de roca; materiales reciclados tales como ladrillos, tejas, hormigón o caucho triturados; o incluso materiales sintéticos como espumas de poliestireno encapsulado y espumas de resinas de urea formaldehído. En cuanto a la parte orgánica del sustrato se suelen utilizar materiales como el compost, la turba, corteza de pino o de coco, o serrín<sup>28</sup>. Se podrá incorporar una parte de suelo natural procedente de zonas cercanas a la mezcla, pero siempre asegurándose que se acaban cumpliendo las condiciones marcadas por la normativa.

El sustrato perfecto sería estable, durable, ligero, capaz de drenar rápidamente el agua y

a la vez retener gran cantidad de humedad y nutrientes, desecarse lentamente, y airearse con facilidad<sup>26</sup>. En este cometido los minerales expandidos y la piedra pómez son muy utilizados gracias a su ligereza y porosidad, pudiendo llegar a representar un 80 % del sustrato. Por otro lado, las arenas suelen usarse en porcentajes mucho menores, en torno al 30%, ya que pese a presentar muy buen drenaje, su peso y baja retención de agua y nutrientes resultan desfavorables. Los ladrillos triturados son también muy utilizados incluso en altos porcentajes, estos son estables y capaces de retener cierta cantidad de humedad a la vez que tienen una buena filtración, además su utilización supone el reciclaje de materiales de proximidad que de otra forma se desecharían. Por último, el material orgánico más utilizado es el compost, cuya dosis suele rondar el 10 %, y aporta nutrientes a la mezcla; su uso se puede complementar con una parte de cortezas de pino o de coco, las cuales mejoran la retención de agua y aligeran el sustrato<sup>28</sup>.

A la hora de elegir entre estos materiales es importante tratar de escoger aquellos que supongan un menor impacto medioambiental, ya sea por su proximidad al origen, la reutilización de materiales de desecho, su huella de carbono o su contaminación de los ecosistemas.

Diferentes autores han estudiado el efecto de la profundidad de la capa de sustrato en el desarrollo de diversas especies. Razzaghmanesh, M. et al.<sup>29</sup> demostraron como el crecimiento de una especie de sedum y una herbácea alcanzaban un crecimiento mayor en sustratos de 30 cm que de 10 en un clima seco de Australia, a pesar de ser capaz de sobrevivir adecuadamente en ambas condiciones. Por otro lado, Eksi, M. et al.<sup>30</sup> investigaron en Estambul como diferentes profundidades de 4, 7 y 10 cm en el sustrato afectaban al crecimiento de varias especies propias de las cubiertas ajardinadas extensivas, concluyendo que para grosores menores a 10 cm las necesidades de riego aumentaban considerablemente. Dimitra S, V.S. et al.<sup>31</sup> observaron que la *Salvia fruticosa* presentaba mejores desarrollos en sustratos de 15 cm en comparación con los de 8 cm, y con alto régimen de riego frente a uno menor, siendo igualmente capaz de sobrevivir en todas las condiciones al clima de Atenas, Grecia. VanWoert, N. et al.<sup>32</sup> observaron en condiciones controladas en un invernadero como sustratos de mayor profundidad eran capaces de retener más humedad, la cual incrementó el crecimiento de las plantas. Dunnet, N. et al.<sup>33</sup> estudiaron el desarrollo de una gran variedad de especies en sustratos de 10 y 20 cm a lo largo de seis años, recogiendo resultados mejores en cuanto a supervivencia,

diversidad y colonización en los sustratos de 20 cm, los cuales incluyen a las especies de sedum y especies colonizadoras que fueron apareciendo a lo largo del tiempo. Por último, los sustratos semi-intensivos fueron estudiados por Kotsiris, G. et al.<sup>34</sup> en Atenas, comparando el desarrollo de la *Lavandula angustifolia* entre sustratos de 20 o 30 cm de espesor, esta presentó una buena supervivencia en ambas condiciones, pero mayor crecimiento en el segundo.

En cuanto a la dosificación del sustrato algunos autores han estudiado diferentes combinaciones y porcentajes en las mezclas tratando de encontrar la más adecuada. López, N. et al.<sup>35</sup> estudiaron el comportamiento hídrico de un gran número de mezclas, las cuales contenían una base mineral de arcilla expandida, arena volcánica, residuos de demolición, perlita o arena de sílice, todas ellas con al menos un 10 % de compost incorporado a la mezcla (90-10), y probando la adición de otros materiales orgánicos como la corteza de pino o la de coco en diferentes proporciones (75-15-10, 60-30-10, 60-15-15-10). Se observó que todas las mezclas cumplían los requerimientos técnicos de la normativa, sin embargo, las mezclas con base de perlita y las de arcilla expandida mostraron un mejor comportamiento, destacando sobre todo las segundas; mientras que las de arena volcánica y residuos de demolición presentaros algunos

problemas como la insuficiente aireación o la baja retención de agua respectivamente. Respecto a la materia orgánica se observó que la adición de cortezas aligeraba el sustrato y aumentaba la retención de agua en todas las mezclas, resultando un poco más eficiente la fibra de coco que la corteza de pino.

Por otro lado, Valera, P.<sup>36</sup> comparó sustratos mediante la plantación de tres especies vegetales en Cartagena, España, con riego por goteo constante; se probaron tres composiciones diferentes: ladrillo triturado, arena y fibra de coco (7-1-2), ladrillo triturado, arena y compost (7-1-2) y puzolana, arlita y turba (35-35-30), resultando la más efectiva la segunda y completamente ineficiente la que contenía fibra de coco. Esto contrasta con lo observado por Razzaghmanesh, M. et al.<sup>29</sup> en el análisis ya mencionado anteriormente, los cuales, al probar una mezcla de ladrillo triturado, escoria, fibra de coco y compost observaron muy poca supervivencia de todas las especies plantadas, al contrario de los otros dos sustratos estudiados, formados por escoria, espumas de urea, corteza de pino y diferentes cantidades de compost. Kotsiris, G. et al.<sup>34</sup> probaron en su investigación sobre la *Lavandula angustifolia* tres composiciones de sustrato diferentes a base de un 65 % de piedra pómez, un 5 % de Clinoptilolita (un mineral natural capaz de atrapar sustancias tóxicas y metales pesados), y un 30 % de turba en un

caso, compost en otro, y suelo natural arenoso en el último; las tres mezclas dieron buenos resultados para ajardinamientos semi-intensivos. Por último, Eksi, M. et al.<sup>37</sup> estudiaron el efecto de diferentes cantidades de compost en el sustrato de cubiertas ajardinadas del tipo huerto para la producción de hortalizas, poniendo a prueba composiciones con un 0, 20, 40, 60, 80, y 100 % de compost donde la otra parte de este estaba formada por un 60 % minerales expandidos y 40 % arena; los resultados evidenciaron que las mezclas con un 60 y 80% de compost eran las de mayor producción, con un buen comportamiento también en las del 40 %, unos porcentajes muy superiores a lo establecido por la normativa en cuanto a otros tipos de ajardinamiento.

Para finalizar, ya se ha mencionado como mayores regímenes de riego ayudan al desarrollo de las plantas, en este aspecto, tanto VanWoert, N. et al.<sup>32</sup> como Nektarios, P. et al.<sup>38</sup> observaron la importancia del riego durante el crecimiento de diferentes especies de *Sedum*, el cual debía extenderse más allá del año desde su nacimiento y hasta que la superficie quedara cubierta, punto a partir del cual se puede reducir.

#### II.4.2. Sobre las especies vegetales

Las diferentes guías existentes únicamente sugieren que se elijan especies vegetales con ciertas propiedades o características, clasificándolas en grupos muy extensos y como mucho ofreciendo un listado de especies que se amoldan a estas. Estas resultan muy útiles como orientación inicial, sin embargo, las opciones y combinaciones son tantas que se hace complicado tomar una decisión. ¿Es mejor plantar una sola especie (monocultivo) o crear comunidades de diferentes especies o géneros?, ¿Qué especie se adaptará mejor al clima? Son preguntas que uno se podría hacer y que algunos investigadores han tratado de responder.

Se ha sugerido que, para las cubiertas extensivas con sustratos poco profundos, diferentes especies de Suculentas y más concretamente de *Sedum* son las más adecuadas en el clima mediterráneo ya que son capaces de resistir las altas temperaturas y la sequía<sup>26</sup>. Los siguientes autores han desarrollado este tema.

Blanusa, T. et al.<sup>39</sup> compararon las prestaciones que ofrece el *Sedum* frente a tres especies perennes de hoja ancha, observando que pese a no ser las segundas tan resilientes como el *Sedum*, están perfectamente adaptadas al clima y ofrecen un enfriamiento superficial y

del aire mayor, sobre todo en sustratos de 200 mm. En Mallorca, España, Azeñas, V.A.<sup>40</sup> estudió seis especies vegetales en tres análisis diferentes, valorando sus prestaciones con diferentes intensidades de riego, y concluyendo que, efectivamente, el *Sedum Sediforme* fue el que mejor comportamiento tuvo en general; sin embargo, se observó también un buen comportamiento en especies como *Brachypodium Phoenicoides* o *Limonium Virgatum*, los cuales tuvieron un mayor rendimiento que el *Sedum* con buen riego.

Zhang, H. et al.<sup>41</sup> observaron cómo hasta diferentes especies de suculentas, 5 de ellas del género *Sedum*, tuvieron problemas para sobrevivir sin aportación de agua de riego a lo largo de 8 años en Beijing, China. Este desapareció mucho antes en sustratos de 5 y 10 cm que en los de 15 y 20 cm. Se teorizó que la muerte de las diferentes especies estuvo más relacionada por no resistir las heladas del invierno que por la sequía o el calor. Rayner, J. et al.<sup>42</sup> también estudiaron la supervivencia de diferentes especies sin riego en el clima seco y cálido de Australia con sustratos esta vez de 125 mm, de entre hiervas, monocotiledóneas y suculentas, solo algunas especies de suculentas lograron sobrevivir.

Otros investigadores han tratado con especies más allá de las suculentas, buscando aquellas que se adapten mejor a diferentes condiciones. Vestrella, A.<sup>43</sup> Estudió doce especies clasificadas entre herbáceas, tapizantes y semiarbusivas, en Caldes de Montbui, Barcelona, España. El experimento se realizó en sustrato de 11 cm de espesor y con diferentes intensidades de riego. Los resultados mostraron un buen comportamiento de algunas especies, destacando entre ellas *Centranthus ruber*, *Santolina rosmarinifolia*, *Helichrysum stoechas* y *Iris lutescens* en cualquiera que fuera el régimen de riego, y *Limonium virgatum*, *Armeria maritima*, *Frankenia laevis* y *Thymus serpyllum* dependiendo de pequeñas aportaciones de agua.

Schneider, A. et al.<sup>44</sup> observaron durante 5 años una cubierta de 110 m<sup>2</sup> donde se plantaron 112 especies vegetales en un clima semiárido, teniendo el sustrato 15 cm de espesor en la mayor parte de su extensión, y un pequeño recreado de hasta 45 cm en uno de sus laterales. De todas las especies plantadas, las clasificadas como herbáceas, tanto rastreras como aéreas, tuvieron las peores ratios de éxito entre todas, logrando solo unas pocas sobrevivir. Por otro lado, la mayoría de las gramíneas, suculentas y arbustos (los cuales se plantaron sobre el sustrato más profundo) prosperaron en estas condiciones.

En cuanto a la comparación entre monocultivos y agrupaciones de especies, Lundholm, J. et al.<sup>45</sup> experimentaron con cómo afectan al cubrimiento y la temperatura superficial el uso de monocultivos, combinaciones de especies de la misma categoría, combinaciones de especies de tres categorías diferentes o la combinación de las cinco categorías estudiadas (Suculentas, pastos, hiervas rastreras, hiervas altas y arbustos rastreros). Las agrupaciones aportaron un mayor enfriamiento superficial que los monocultivos, a excepción de algunos monocultivos de herbáceas que mostraron muy buen comportamiento. Las combinaciones de especies de la misma categoría mostraron recubrimientos menores que el resto de las propuestas, se especula que la razón fuera la rivalidad entre especies similares. Y, por último, los mejores rendimientos los mostraron las agrupaciones donde se incluían hiervas altas, tanto de tres categorías como de las cinco, destacando sobre todo la de suculentas, arbustos rastreros y las ya mencionadas hiervas altas.

Por otro lado, autores como Boussetot, J. et al.<sup>46</sup> y Lamnatou, C. & Chemisana, D.<sup>47</sup> estudiaron la interacción de la vegetación con la instalación de paneles fotovoltaicos. Los primeros observaron que la sombra de los paneles aumentó la supervivencia y el recubrimiento de las especies plantadas bajo estos, así como

propició una menor temperatura superficial. Los segundos valoraron el uso de diferentes especies y géneros en combinación con los paneles en el clima mediterráneo, concluyendo que las especies suculentas compactas eran las más apropiadas para ello, destacando también otras de grupos como la *Gazania rigens*.

Por último, Dunnet, N. et al.<sup>33</sup> observaron en la investigación ya mencionada en el apartado anterior como a lo largo de los 6 años que esta duró, un gran número de especies externas, mayoritariamente hiervas, arbustos y árboles, fueron colonizando la superficie del sustrato, llegando a cubrir algunas de ellas más superficie que las implantadas originalmente. Estas llegaron hasta allí gracias al viento, las aves o incluso la actividad humana, demostrando así que las cubiertas ajardinadas no forman un sistema cerrado, y que, si las condiciones del sustrato son las adecuadas, las propias plantas acabarán colonizando el lugar.

## II.5. Formulación de la base teórica

Después de revisar toda la literatura más relevante en cuanto a sustratos y vegetación, y siguiendo las prescripciones dadas por las diferentes guías y documentación estudiadas, se procede a la elaboración de la base teórica sobre la que se formularán las propuestas y recomendaciones que se harán a continuación, apelando a la forma en que se decidirá con que materiales y de qué manera se ejecutará cada uno de los elementos que conforman el sistema.

El **soporte resistente** y la **creación de pendientes** se supondrá ya definida por el proyecto y sus necesidades, teniendo siempre en cuenta que la segunda deberá ser de al menos un 2%.

La **impermeabilización** estará formada por láminas de EDPM fijadas mecánicamente a la base resistente. Estas son resistentes a la penetración de las raíces y a ataques químicos, por lo que en general no hará falta instalar una capa extra con esta función.

En casos como las rehabilitaciones en las que ya exista una impermeabilización que se vaya a conservar, o en cubiertas con ajardinamientos intensivos en las que las raíces son pueden ejercer una presión mayor sobre esta se instalará también una **lámina**

**antiraíces**, esta estará formada por láminas de polietileno de alta resistencia.

Se colocará una capa de **aislamiento térmico** en todos los caos, incluido en aquellos donde el sustrato aporte suficiente capacidad aislante para cumplir las exigencias de la normativa y el proyecto, en estos casos más que aislar, su función será proteger la impermeabilización. Se usarán láminas de XPS de al menos 3 cm de espesor y 300 KPa de resistencia a la compresión.

La **capa drenante** estará formada siempre que sea posible por cantos rodados o fragmentos reciclados de granulometría comprendida entre 20 y 50 mm y espesores de al menos 6 cm. El objetivo de usar este tipo de material es reducir el impacto medioambiental del sistema, el cual ya está formado por muchos materiales sintéticos, sin embargo, en ajardinamientos extensivos donde se valora mucho la ligereza y el poco espesor del sistema se colocarán láminas drenantes sintéticas de 4 cm de espesor y con función retenedora de agua incorporada.

Una **lámina filtrante** se colocará en todos los casos entre la capa drenante y el sustrato, para lo que se emplearán geotextiles de densidad superior a 100 g/m<sup>2</sup>, permeabilidad mayor a 15 mm/s y apertura efectiva de entre 0,06 y 0,2 mm.

Aunque bien se podrían utilizar **sustratos** comerciales, al ser uno de los objetivos de este trabajo el optimizar las prestaciones de estos, se ha optado por manufacturar las mezclas. Estas se adaptarán a las diferentes necesidades de cada proyecto y su vegetación, cumpliendo siempre los valores de distribuciones granulométricas, PH, permeabilidad, capacidad de retención de agua y aireación recomendados por la FLL y las NTJ 11C, y aplicando lo aportado por los diferentes estudios analizados en el apartado II.4.1. Como norma general la base de todos los sustratos estará formada por minerales expandidos, como la arcilla expandida o la perlita, piedra pómez o ladrillos triturados, y un contenido mínimo de compost del 10 %. A esta base se le podrán añadir diferentes aditivos para adaptarlos a cada situación, se utilizará arena en un porcentaje máximo del 30 % para mejorar la filtración y la estabilidad; se podrá añadir hasta un 50 % de tierra natural para que la mezcla resulte más, efectivamente, natural para la flora y fauna; y se mezclará hasta un 15 % de corteza de coníferas si se desea reducir la densidad, aumentar la retención de agua y la cantidad de materia orgánica. En cuanto al espesor, se ha visto como en climas mediterráneos los sustratos mas gruesos tienden a favorecer el desarrollo de la vegetación, por lo tanto, se optará por no

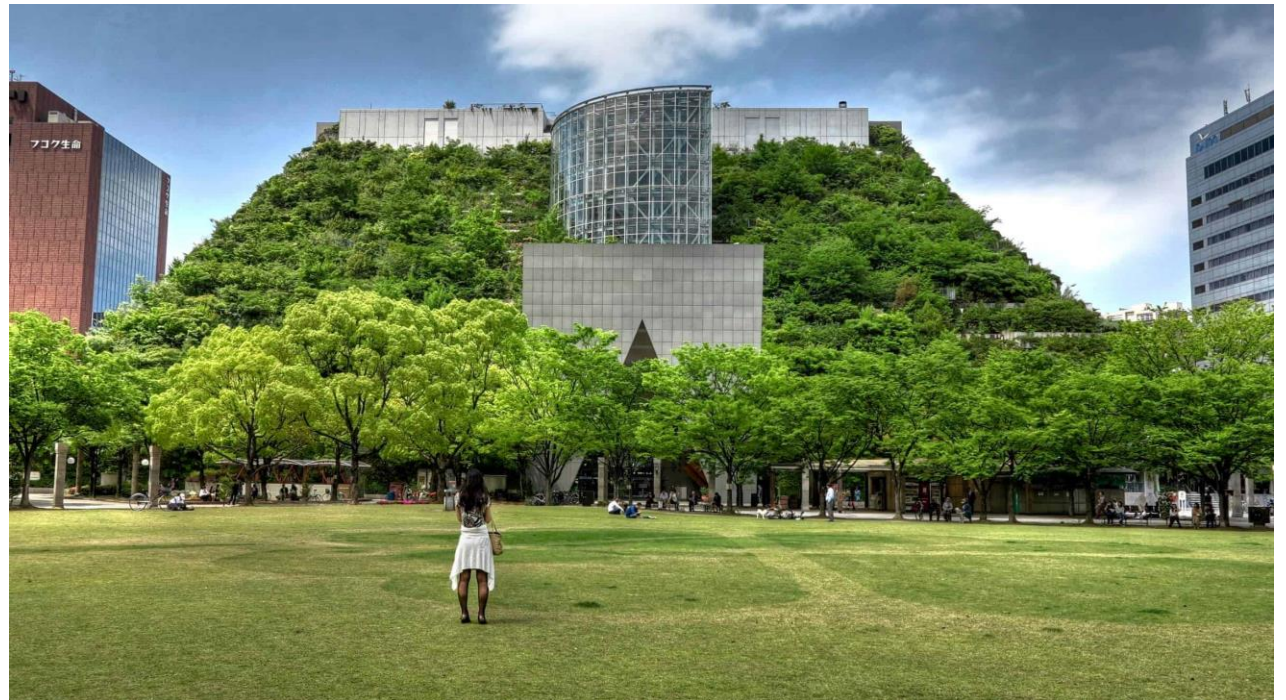
buscar los mínimos espesores dentro de cada tipología.

Para la elección de las **especies vegetales** se tomará como guía los requisitos marcados por la documentación consultada y los listados de vegetación recomendada para el uso de cubiertas ajardinadas de las diferentes guías. Entre ellos, los de la NTJ 11C<sup>24</sup> y de la Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes del Ayuntamiento de Barcelona<sup>14</sup>, además de la *Guía de especies vegetales de la cuenca mediterránea aptas para revegetación* de Conesa, E. et al.<sup>48</sup> y el *Catálogo de plantas para jardinería mediterránea sin especies invasoras* de la Generalitat Valenciana<sup>49</sup>. Estos se contrastarán con las conclusiones alcanzadas por las diferentes investigaciones estudiadas para tratar de prescribir la vegetación más adecuada para cada situación. Se evitarán los monocultivos, buscando una mayor biodiversidad y las mejoras a las prestaciones que las comunidades ofrecen, mezclando no solo especies sino tipos y géneros también.

Por último, según lo concluido por los diferentes estudios, el **riego** de las cubiertas ajardinadas se hace completamente necesario en el clima mediterráneo, al menos durante las etapas de implantación de la vegetación y las épocas de sequía. Por lo tanto, se instará siempre un sistema de riego, el cual por norma general será por goteo, como recomienda la

Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes del Ayuntamiento de Barcelona<sup>14</sup>, pudiendo instalarse este superficial o enterrado.

Fig 2.40: Vista frontal del ACROS Fukuoka Prefectural International Hall, Japón.



### **III. PROPUESTAS CONSTRUCTIVAS**

En las fichas que aparecen a continuación se ha tratado de condensar todo lo estudiado anteriormente para formar diferentes propuestas que resuelvan cada una de las tipologías estudiadas. En ellas se incluye la una de todas las posibles soluciones constructivas del sistema, un resumen de los requisitos asociados a la tipología resuelta y recomendaciones sobre la composición del sustrato y la selección de las especies vegetales particularizadas para cada caso.

Como norma general la solución constructiva responde a la ordenación de las capas en forma de cubierta invertida (con el aislamiento térmico sobre la impermeabilización), ya que esta trabaja en conjunto con la capa vegetal y de sustrato de forma más solidaria y permite una mayor protección de la impermeabilización.

Las elecciones de especies vegetales han sido tomadas siguiendo lo extraído de las diferentes investigaciones y guías consultadas. Como complemento a las recomendaciones hechas se puede encontrar en el Anexo 1 toda la lista de especies que han sido consideradas y las cuales son igualmente válidas para ser implantadas en cubiertas ajardinadas de climas mediterráneos.

*Fig 2.41: Diferentes ajardinamientos en el Parkroyal hotel, Singapur.*





### III.1. Extensiva Plana

- 1.- Vegetación. Suculentas, herbáceas y vivaces.
- 2.- Riego por goteo, instalación superficial.
- 3.- Sustrato. 12 cm de espesor.
- 4.- Lámina filtrante. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup> y apertura de poro 95 µm.
- 5.- Capa drenante/retenedora de agua. Paneles nodulares sintéticos de 40 mm con capacidad de retención de agua >15 l/m<sup>2</sup>.
- 6.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 7.- Aislante térmico. Paneles de poliestireno extruido (XPS) de 6 cm.
- 8.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 9.- Impermeabilización de EDPM resistente a la penetración de raíces y fijada mecánicamente.
- 10.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 11.- Hormigón ligero de pendientes. Pendiente del 2 %.
- 12.- Soporte resistente.

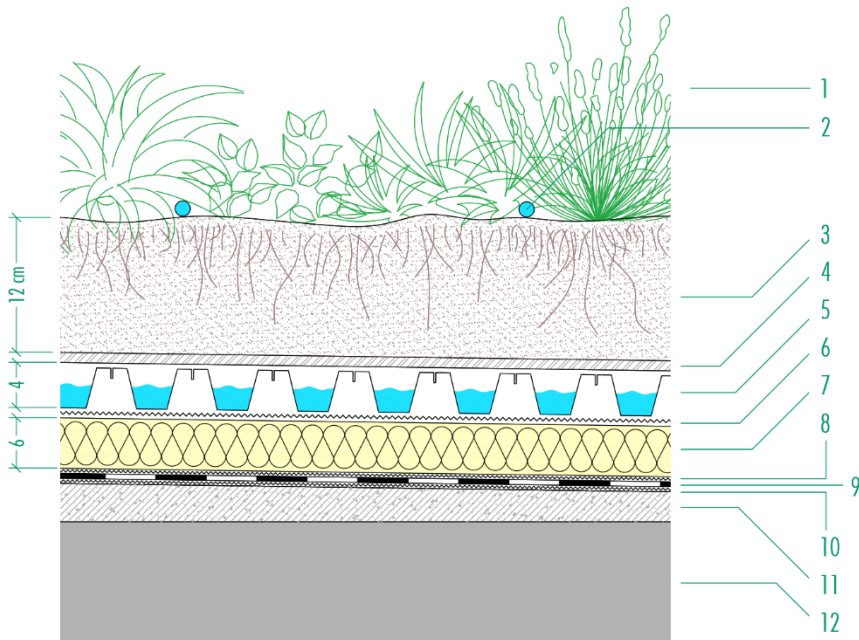


Fig 2.42: Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva.

**Usos:** cubierta ligera, normalmente no transitable.

**Requisitos de la vegetación:** Resistente a periodos de sequía, capacidad de crecimiento en poco espesor de sustrato, buen cubrimiento.

**Requisitos del sustrato:** Ligereza, buena retención de agua, filtración rápida, aireación.

**Requisitos constructivos:** poco espesor, capacidad de almacenamiento de agua.

**Sustrato recomendado:** 80 % arcilla expandida o ladrillo triturado ( $2 < \varnothing < 4$  mm), 10 % corteza de pino y 10 % compost.

#### Vegetación recomendada

**Suculentas:** *Aptenia cordifolia*, *Disphyma crassifolium* y *Lampranthus deltoides*.

**Herbáceas perennifolias:** *Gazania rigens*, *Helychrisum decumbens*, *Osteospermum barberae*, *Rhodanthemum hosmariense* y *Stachys byzantine*.

### III.1.1. Extensiva para rehabilitación

Para este caso se supone una cubierta plana tradicional a la que se le sustituye el sistema de acabado por una cubierta ajardinada extensiva, todo ello sin sustituir la impermeabilización original.

- 1.- Vegetación. Suculentas, herbáceas y vivaces.
- 2.- Riego por goteo, instalación superficial.
- 3.- Sustrato. 12 cm de espesor.
- 4.- Lámina filtrante. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup> y apertura de poro 95 µm.
- 5.- Capa drenante/retenedora de agua. Paneles nodulares sintéticos de 40 mm con capacidad de retención de agua >15 l/m<sup>2</sup>.
- 6.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 7.- Lámina antiraíces de polietileno de alta resistencia 320 g/m<sup>2</sup> y resistencia a la tracción >18 MPa.

- 8.- Impermeabilización original de la cubierta, no resistente a las raíces.
- 9.- Capa separadora
- 10.- Aislante térmico original de la cubierta.
- 11.- Hormigón ligero de pendientes. Pendiente original de la cubierta.
- 12.- Soporte resistente.

**Usos:** Cubierta ligera, normalmente no transitable, rehabilitación de cubiertas con impermeabilización no resistente a las raíces.

**Requisitos de la vegetación:** Resistente a periodos de sequía, capacidad de crecimiento en poco espesor de sustrato, buen cubrimiento.

**Requisitos del sustrato:** Ligereza, buena retención de agua, filtración rápida, aireación.

**Requisitos constructivos:** Poco espesor, capacidad de almacenamiento de agua, instalar lámina antiraíces, cargas mínimas, similares al acabado sustituido (pavimento, gravas, ...).

**Sustrato recomendado:** 80 % arcilla expandida o ladrillo triturado ( $2 < \phi < 4$  mm), 10 % corteza de pino y 10 % compost.

#### Vegetación recomendada

**Suculentas:** *Aptenia cordifolia*, *Disphyma crassifolium* y *Lampranthus deltoides*.

**Herbáceas perennifolias:** *Gazania rigens*, *Helychrisum decumbens*, *Osteospermum barberae*, *Rhodanthemum hosmariense* y *Stachys byzantine*.

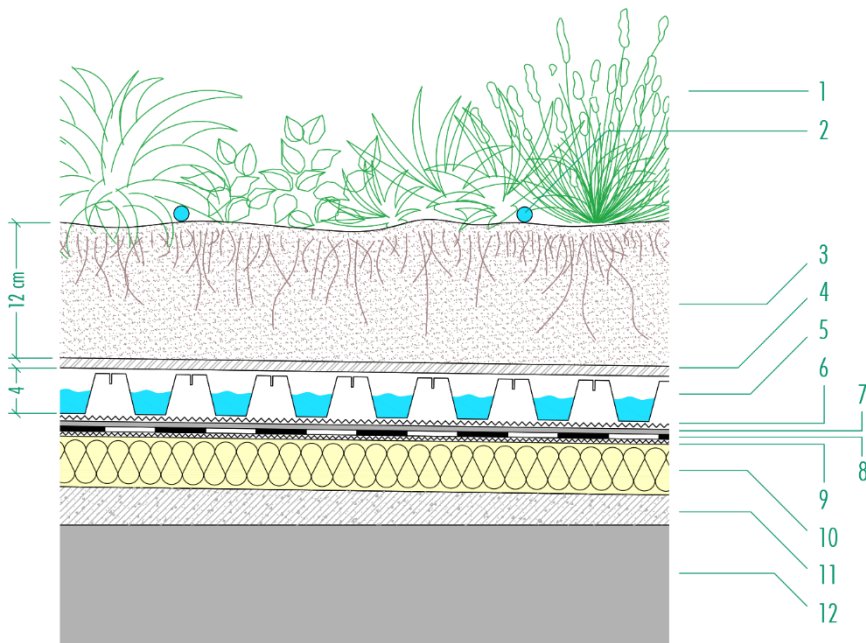
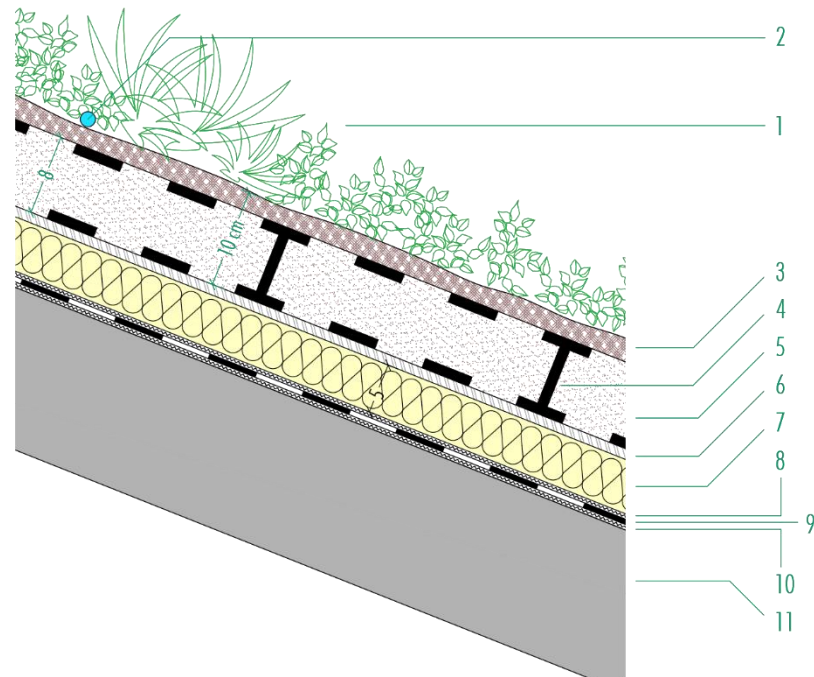


Fig 2.43: Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva para rehabilitación.

### III.1.2. Extensiva inclinada



- 1.- Vegetación. Suculentas, herbáceas y vivaces.
- 2.- Riego por goteo, instalación superficial próxima a la coronación.
- 3.- Sistema de plantación por tapices precultivados.
- 4.- Elementos de sujeción del terreno de polietileno reciclado.
- 5.- Sustrato. 10 cm de espesor total.
- 6.- Lámina filtrante retenedora de agua. Geotextil de poliéster 1500 g/m<sup>2</sup> y capacidad de retención de agua de 12 l/m<sup>2</sup>.
- 7.- Aislante térmico. Paneles de poliestireno extruido (XPS) de 5 cm.
- 8.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 9.- Impermeabilización de EDPM resistente a la penetración de raíces y fijada mecánicamente.
- 10.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 11.- Soporte resistente. Con pendiente de hasta 35°.

Fig 2.44: Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva inclinada.

**Usos:** Cubierta ligera, inclinada hasta 35°, no transitable.

**Requisitos de la vegetación:** Resistente a periodos de sequía, capacidad de crecimiento en poco espesor de sustrato, buen cubrimiento, Plantación por tapices precultivados a partir de 20°.

**Requisitos del sustrato:** Ligereza, buena retención de agua, filtración rápida, aireación, compacidad.

**Requisitos constructivos:** Poco espesor, instalar sistemas retenedores y antierosión dependiendo de la pendiente.

**Sustrato recomendado:** 60 % arcilla expandida o ladrillo triturado ( $2 < \varnothing < 4$  mm), 20 % de arena, 10 % corteza de pino y 10 % compost.

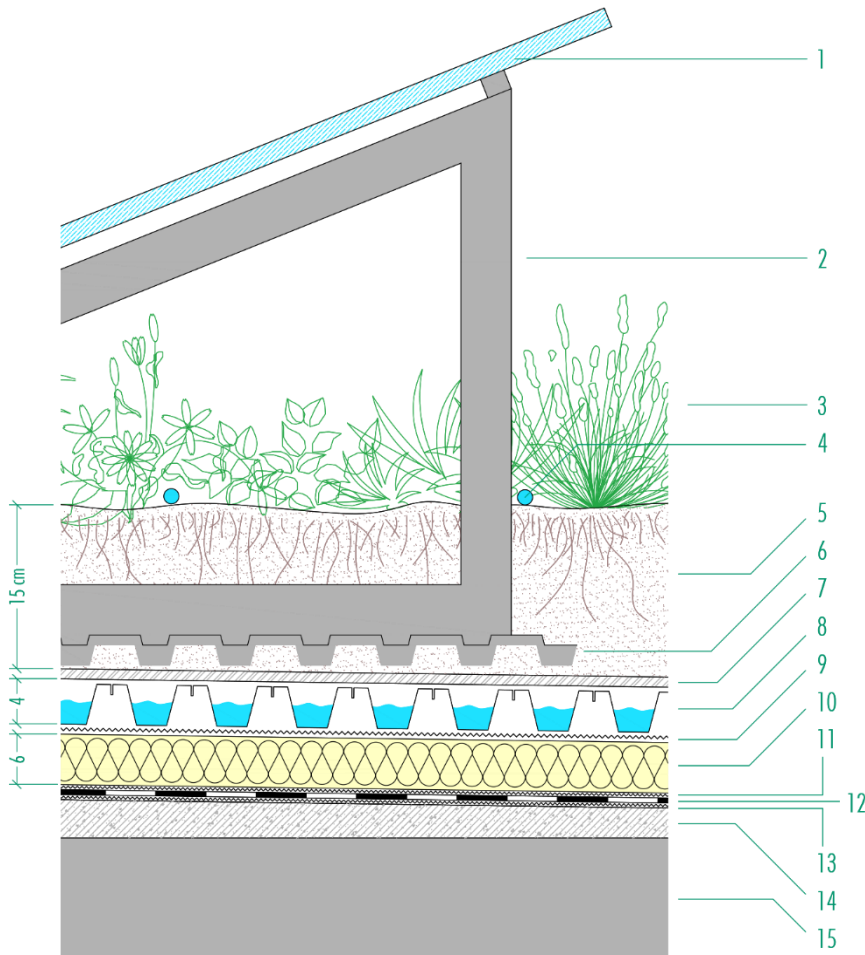
#### Vegetación recomendada

**Suculentas:** *Aptenia cordifolia*, *Delosperma lineare*, *Disphyma crassifolium* y *Lampranthus deltoides*, *Sedum spurium*.

**Herbáceas perennifolias:** *Gazania rigens*, *Rhodanthemum hosmariense* y *Stachys byzantine*.

### III.1.3. Extensiva generadora de energía

Fig 2.45: Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva generadora de energía.



- 1.- Panel fotovoltaico.
- 2.- Soporte de los paneles.
- 3.- Vegetación. Suculentas, herbáceas y vivaces.
- 4.- Riego por goteo, instalación superficial.
- 5.- Sustrato. 15 cm de espesor.
- 6.- Base del soporte, compatible con la lámina drenante.
- 7.- Lámina filtrante. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup> y apertura de poro 95 µm.
- 8.- Capa drenante/retenedora de agua. Paneles nodulares sintéticos de 40 mm con capacidad de retención de agua >15 l/m<sup>2</sup>.
- 9.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 10.- Aislante térmico. Paneles de poliestireno extruido (XPS) de 6 cm.
- 11.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 12.- Impermeabilización de EDPM resistente a la penetración de raíces y fijada mecánicamente.
- 13.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 14.- Hormigón ligero de pendientes. Pendiente del 2 %.
- 15.- Base de hormigón.

**Usos:** Cubierta ligera, Instalación de paneles fotovoltaicos.

**Requisitos de la vegetación:** Resistente a periodos de sequía, buen cubrimiento, desarrollarse con sombra, altura inferior a los paneles.

**Requisitos del sustrato:** Buena retención de agua, filtración rápida, aireación, suficiente espesor para lastrar los paneles.

**Requisitos constructivos:** Capacidad de almacenamiento de agua, accesible para mantenimiento, sujeción de los paneles sin perforar la impermeabilización, considerar la carga de los paneles.

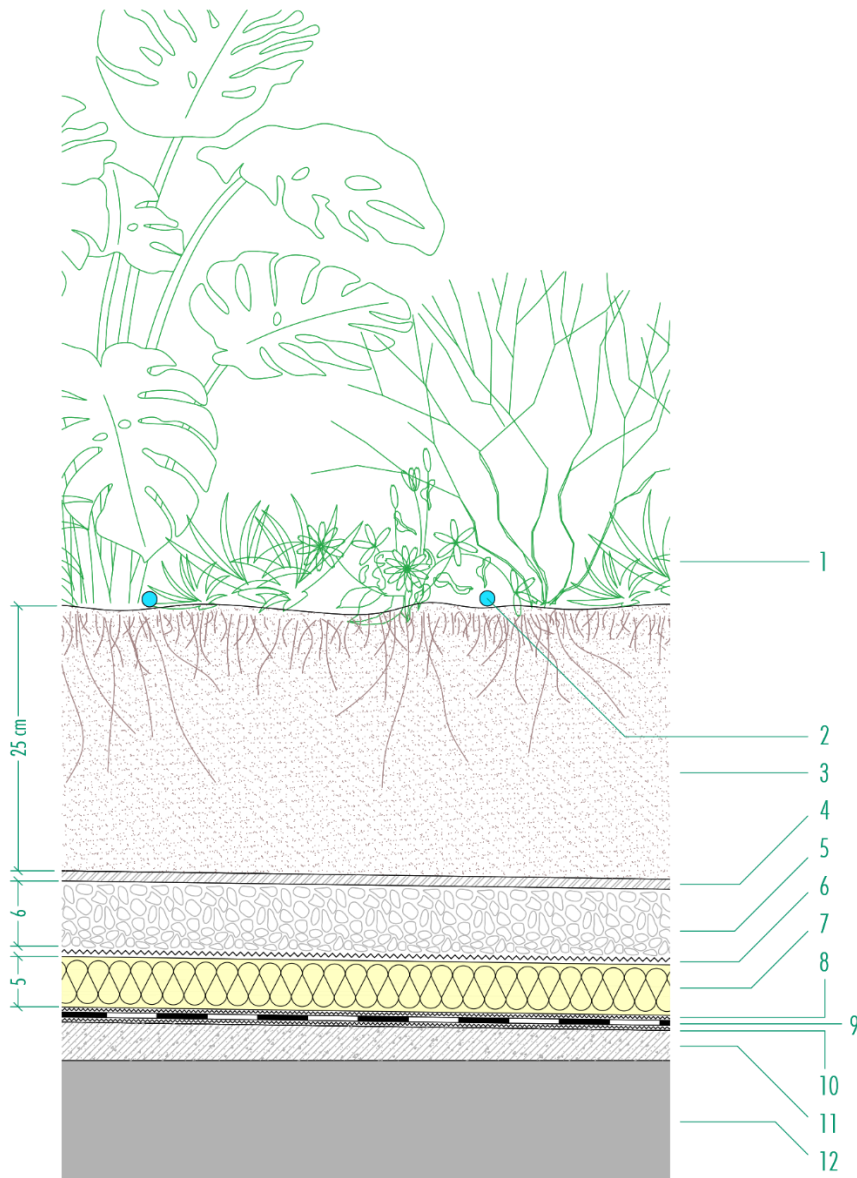
**Sustrato recomendado:** 80 % arcilla expandida o ladrillo triturado ( $2 < \phi < 4$  mm), 10 % corteza de pino y 10 % compost.

#### Vegetación recomendada

**Suculentas:** *Aptenia cordifolia*, *Disphyma crassifolium* y *Lampranthus deltoides*.

**Herbáceas perennifolias:** *Gazania rigens*, *Helychrisum decumbens*, *Osteospermum barberae* y *Rhodanthemum hosmariense*.

### III.2. Semi-intensiva



1.- Vegetación. Suculentas, herbáceas, vivaces y subarborescentes.

2.- Riego por goteo, instalación superficial.

3.- Sustrato. 25 cm de espesor.

4.- Lámina filtrante. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup> y apertura de poro 95 µm.

5.- Capa drenante/retenedora de agua. Capa de gravas de 6 cm de espesor con capacidad de retención de agua >15 l/m<sup>2</sup>.

6.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

7.- Aislante térmico. Paneles de poliestireno extruido (XPS) de 5 cm.

8.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

9.- Impermeabilización de EDPM resistente a la penetración de raíces y fijada mecánicamente.

10.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

11.- Hormigón ligero de pendientes. Pendiente del 2 %.

12.- Soporte resistente.

**Usos:** Transitable, zonas de ocio y esparcimiento, estética.

**Requisitos de la vegetación:** Resistente a periodos de sequía, buen cubrimiento, tamaño medio, raíces poco agresivas, estéticamente agradables.

**Requisitos del sustrato:** Buena retención de agua, filtración rápida, aireación.

**Requisitos constructivos:** Cargas medias (a considerar), accesibilidad, pavimentos y recorridos.

**Sustrato recomendado:** 60 % arcilla expandida o ladrillo triturado (2<Ø<4 mm), 20 % de arena, 10 % corteza de pino y 10 % compost.

#### Vegetación recomendada

**Suculentas:** *Aptenia cordifolia*, y *Delosperma cooperi*.

**Herbáceas perennifolias:** *Arenaria baleárica*, *Gazania rigens*, *Osteospermum barberae*, *Rhodanthemum hosmariense* y *Stachys byzantine*.

**Subarborescentes:** *Lavandula dentata*, *Lavandula angustifolia*, *Pelargonium x fragrans*, *Thymus vulgaris* y *Thymus serpyllum*.

Fig 2.46: Solución constructiva de cubierta ajardinada semi-intensiva.

### III.3. Naturalizada

- 1.- Vegetación. Suculentas, herbáceas, vivaces y subarborescentes.
- 2.- Riego por goteo, instalación enterrada.
- 3.- Elementos naturales.
- 4.- Sustrato. 30 cm de espesor.
- 5.- Lámina filtrante. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup> y apertura de poro 95 µm.
- 6.- Capa drenante/retenedora de agua. Capa de gravas de 6 cm de espesor con capacidad de retención de agua >15 l/m<sup>2</sup>.
- 7.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 8.- Aislante térmico. Paneles de poliestireno extruido (XPS) de 5 cm.
- 9.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 10.- Impermeabilización de EDPM resistente a la penetración de raíces y fijada mecánicamente.
- 11.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.
- 12.- Hormigón ligero de pendientes. Pendiente del 2 %.
- 13.- Soporte resistente.

**Usos:** Tanto transitable como no, aumento de la biodiversidad, zonas de ocio y esparcimiento, estética.

**Requisitos de la vegetación:** Resistente a periodos de sequía, buen cubrimiento, tamaño medio, raíces poco agresivas, especies autóctonas, refugio y alimento para la fauna, estéticamente agradables.

**Requisitos del sustrato:** Buena retención de agua, inclusión de parte de suelo natural en la formulación, distribución heterogénea.

**Requisitos constructivos:** Cargas medias (a considerar), inclusión de elementos naturales (troncos, piedras, charcas, ...).

**Sustrato recomendado:** 40 % suelo natural, 40 % arcilla expandida o ladrillo triturado ( $2 < \phi < 4$  mm), 10 % corteza de pino y 10 % compost.

#### Vegetación recomendada

**Suculentas:** *Aptenia cordifolia*, y *Delosperma cooperi*.

**Herbáceas perennifolias:** *Asteriscus maritimus*, *Gazania rigens*, *Geranium molle*, *Hyssopus officinalis*, *Osteospermum barberae*, *Rhodanthemum hosmariense* y *Scabiosa farinosa*.

**Subarborescentes:** *Lavandula dentata*, *Lavandula angustifolia*, *Origanum Vulgare*, *Thymus vulgaris* y *Thymus serpyllum*.

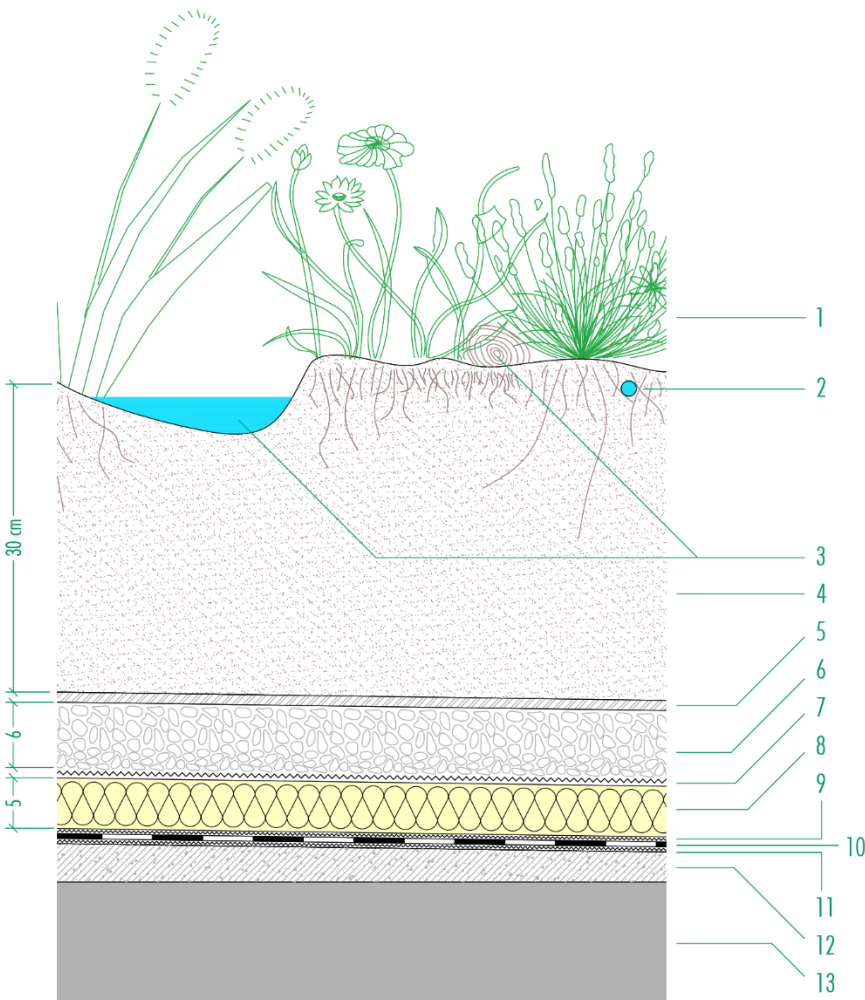
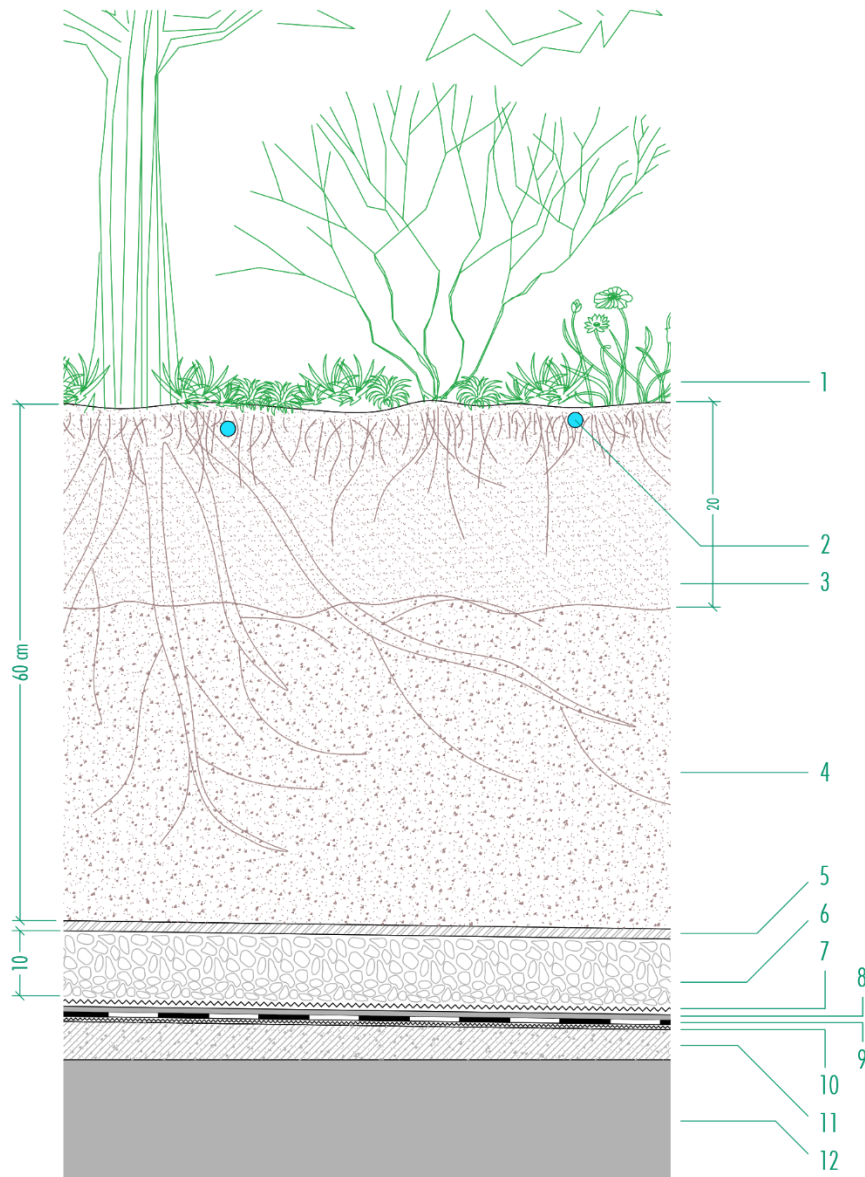


Fig 2.47: Solución constructiva de cubierta ajardinada naturalizada.

### III.4. Intensiva



1.- Vegetación. Suculentas, herbáceas, vivaces, subarborescentes, arbustivas y arbóreas.

2.- Riego por goteo, instalación enterrada.

3.- Sustrato rico en materia orgánica, 20 cm de espesor.

4.- Sustrato pobre, espesor total de 60 cm.

5.- Lámina filtrante. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup> y apertura de poro 95 µm.

6.- Capa drenante/retenedora de agua. Capa de gravas de 10 cm de espesor con capacidad de retención de agua >20 l/m<sup>2</sup>.

7.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

8.- Lámina antiraíces de poliolefina flexible (FPO) 1,13 kg/m<sup>2</sup> y resistencia al desgarro >800 N/5 cm, probada según el método de la FLL.

9.- Impermeabilización de EDPM resistente a la penetración de raíces y fijada mecánicamente.

10.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

11.- Hormigón ligero de pendientes. Pendiente del 2 %.

12.- Soporte resistente.

**Usos:** Transitable, zonas de ocio y esparcimiento, jardines, estética.

**Requisitos de la vegetación:** Resistente a periodos de sequía, buen cubrimiento, tapiz + arbustos y árboles, raíces poco agresivas, estéticamente agradables.

**Requisitos del sustrato:** Buena retención de agua, filtración rápida, aireación, división en dos estratos.

**Requisitos constructivos:** Cargas importantes, cargas puntuales de los árboles, instalación de lámina antiraíces, accesibilidad, pavimentos y recorridos.

#### Sustrato recomendado:

**Estrato superior:** 50 % arcilla expandida o ladrillo triturado (2<Ø<4 mm), 20 % de arena, 15 % corteza de pino y 15 % compost.

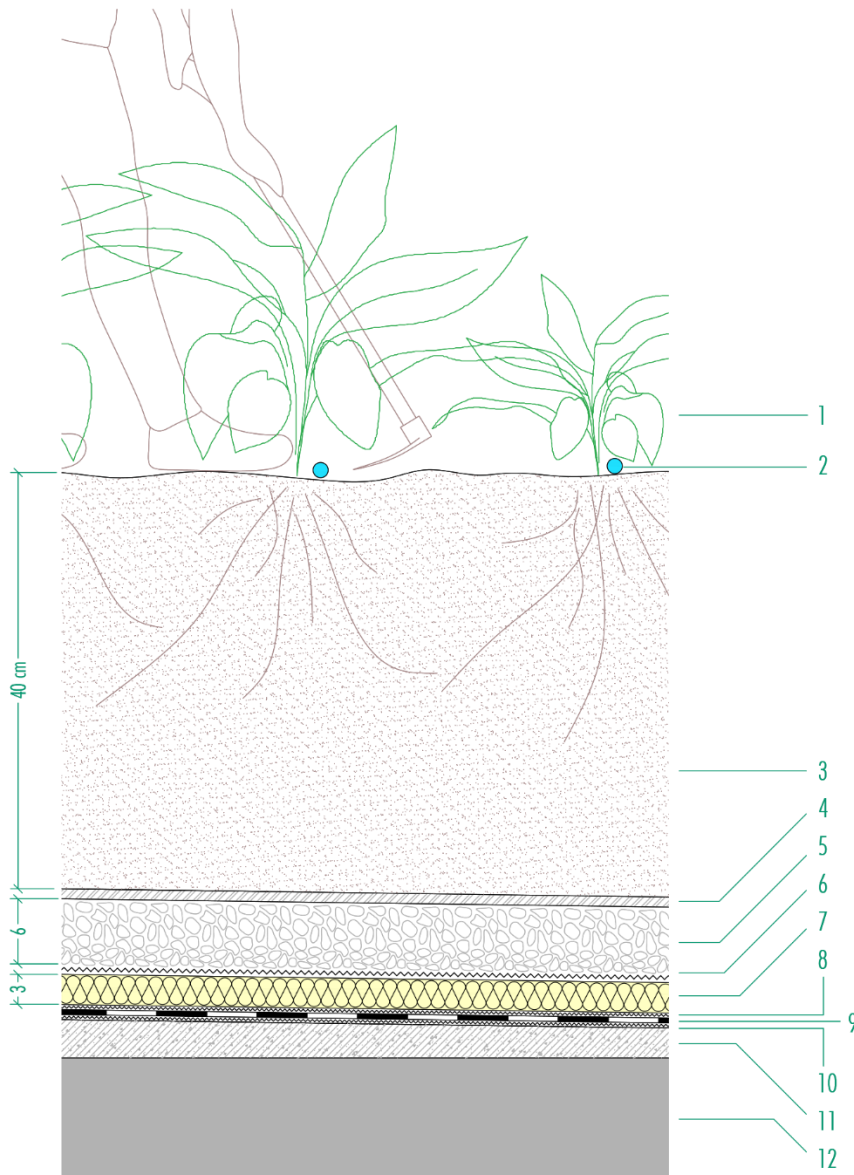
**Estrato inferior:** 70 % arcilla expandida o ladrillo triturado (2<Ø<4 mm), 25 % de arena y 5 % compost.

#### Vegetación recomendada:

Cualquiera de las especies recomendadas por el **Anexo 1** y arbustos y árboles de porte mediano con raíces poco agresivas.

Fig 2.48: Solución constructiva de cubierta ajardinada intensiva.

### III.5. Huerto



1.- Vegetación. Hortalizas, aromáticas y frutales de tamaño medio (para estos se recomienda generar recrecidos del sustrato hasta los 60 cm de espesor total).

2.- Riego por goteo, instalación superficial no fijada.

3.- Sustrato rico en nutrientes. 40 cm de espesor.

4.- Lámina filtrante. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup> y apertura de poro 95 µm.

5.- Capa drenante/retenedora de agua. Capa de gravas de 6 cm de espesor con capacidad de retención de agua >15 l/m<sup>2</sup>.

6.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

7.- Aislante térmico. Paneles de poliestireno extruido (XPS) de 5 cm.

8.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

9.- Impermeabilización de EDPM resistente a la penetración de raíces y fijada mecánicamente.

10.- Capa separadora. Geotextil de poliéster 200 g/m<sup>2</sup>.

11.- Hormigón ligero de pendientes. Pendiente del 2 %.

12.- Soporte resistente.

**Usos:** Transitable, cultivo de hortalizas, aromáticas y frutales.

**Requisitos de la vegetación:** hortalizas, aromáticas y frutales de tamaño medio, raíces poco agresivas.

**Requisitos del sustrato:** Buena retención de agua, filtración rápida, aireación, alto contenido en materia orgánica.

**Requisitos constructivos:** Cargas importantes, zonas de acceso y paso, reserva de almacenamiento, adaptabilidad del sistema de riego a los diferentes cultivos.

**Sustrato recomendado:** 50 % compost, 30 % arcilla expandida o ladrillo triturado (2<Ø<4 mm) y 20 % de arena.

**Vegetación recomendada:**

hortalizas, aromáticas y frutales de tamaño medio.

Fig 2.49: Solución constructiva de cubierta ajardinada huerto.



## IV. CONCLUSIONES

Queda comprobado que las cubiertas ajardinadas ofrecen una gran cantidad de beneficios, tanto para el edificio como sociales y ambientales, los cuales convierten a esta tipología en una alternativa a los sistemas de cubierta tradicionales, más eficiente y respetuosa con el medio ambiente, la cual halla cada vez más cabida dentro de la sociedad actual.

El sistema constructivo de estas cubiertas, que se ha ido desarrollando desde la mitad del siglo pasado, hoy en día está perfectamente definido y estudiado, existiendo diferentes guías y normativas que definen perfectamente sus componentes y la forma de ejecutarlos.

Son capaces de adaptarse a muchas situaciones diferentes gracias al gran repertorio de tipologías que existen, destacando entre ellas las cubiertas naturalizadas que pueden llegar a desempeñar un papel fundamental en la conservación de la biodiversidad de nuestras ciudades.

Sin embargo, el uso de estas también conlleva algunos retos a los que es necesario enfrentarse, entre ellos la necesidad de adaptar la vegetación y el sustrato a las condiciones climáticas y de entorno en las que se encuentre cada una de estas cubiertas.

Las investigaciones estudiadas revelan como en climas mediterráneos un mayor espesor del sustrato, así como el riego durante algunas épocas, se hacen necesarios para el correcto desarrollo de la vegetación. La composición del sustrato también deberá adaptarse a los requerimientos de la tipología elegida y las necesidades de la vegetación a implantar, pudiéndose elegir entre usar sustratos comerciales o manufacturarlos mediante la mezcla de componentes orgánicos e inorgánicos.

Sobre la vegetación en el clima mediterráneo también existen numerosos estudios, los cuales han concluido que no solo las especies suculentas son capaces de adaptarse y sobrevivir a las condiciones extremas de las cubiertas extensivas, y que la agrupación de diferentes especies en el mismo espacio supone diferentes beneficios frente a la plantación de monocultivos.

Por último, se han hecho una serie de propuestas constructivas y recomendaciones sobre la composición del sustrato y la vegetación, adaptadas a cada uno de las tipologías estudiadas y basadas en lo estudiado a lo largo del trabajo.

Cabe destacar que estas propuestas, aunque estén basadas en las guías y la normativa consultada, y se apoyen en las conclusiones de los autores que han investigado sobre ello; son completamente teóricas, y por lo tanto la investigación u observación del correcto funcionamiento de las mismas en un proyecto real sería necesario para comprobar su validez.

*Fig 2.50: Cubierta ajardinada del Centre for Sustainable Chemistry de la universidad de Nottingham, UK.*



## V. REFERENCIAS

## V.1. Figuras

Fig. 1.1	Torres residenciales Bosco Verticale (Milán, Italia).	Fuente: <a href="https://www.stefanoeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/">https://www.stefanoeriarchitetti.net/en/project/vertical-forest/</a>	Fig. 2.5	Representación de la construcción de una cubierta ajardinada aljibe.	Fuente: <a href="https://www.construible.es/2007/12/21/intemper-construye-una-cubierta-ecologica-aljibe-en">https://www.construible.es/2007/12/21/intemper-construye-una-cubierta-ecologica-aljibe-en</a>
Fig. 1.2	Portada de la NTJ 11C.	Fuente: <a href="https://www.ntjdejardineria.org/ntj/ntj-11c-cubiertas-verdes/">https://www.ntjdejardineria.org/ntj/ntj-11c-cubiertas-verdes/</a>	Fig. 2.6	Cubierta ajardinada con instalación de paneles fotovoltaicos. Centro Tecnológico de Múnich, Alemania.	Fuente: <a href="https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/referencias/mtz-centro-tecnologico-de-munich">https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/referencias/mtz-centro-tecnologico-de-munich</a>
Fig. 1.3	Los ODS.	Fuente: <a href="https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/">https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/</a>	Fig. 2.7	Sistema constructivo de cubierta ajardinada.	Fuente: Danosa. <a href="https://www.danosa.com/es-es/sistema/cubierta-ajardinada-extensiva-con-pvc-ext2/">https://www.danosa.com/es-es/sistema/cubierta-ajardinada-extensiva-con-pvc-ext2/</a>
Fig. 2.1	Componentes de una cubierta ajardinada.	Fuente: Ayuntamiento de Barcelona <sup>14</sup>	Fig. 2.8	Formación de pendientes	Fuente: Mas, Á. 2020.
Fig. 2.2	Terraza jardín de la Weissenhof de Le Corbusier y Pierre Jeanneret. Stuttgart (1927).	Fuente: <a href="https://architecturalvisits.com/weissenhofmuseum-und-siedlung/">https://architecturalvisits.com/weissenhofmuseum-und-siedlung/</a>	Fig. 2.9	Ejecución de impermeabilización mediante lámina asfáltica.	Fuente: <a href="https://www.cantitec.es/impermeabilizacion-de-cubiertas-sistemas-impermeabilizacion/">https://www.cantitec.es/impermeabilizacion-de-cubiertas-sistemas-impermeabilizacion/</a>
Fig. 2.3	Diagramas representativos de los beneficios.	Fuente: Ayuntamiento de Barcelona <sup>14</sup>	Fig. 2.10	Lámina antiraíces de polietileno (PE-LD).	Fuente: <a href="https://projar.es/productos/productos-jardineria-urbanismo/cubiertas-ajardinadas-projar/componentes-de-cubiertas-ajardinadas/laminas-antirraices/lamina-antirraices-grf-500-projar-para-cubiertas-ajardinadas/">https://projar.es/productos/productos-jardineria-urbanismo/cubiertas-ajardinadas-projar/componentes-de-cubiertas-ajardinadas/laminas-antirraices/lamina-antirraices-grf-500-projar-para-cubiertas-ajardinadas/</a>
Fig. 2.4	Cubierta ajardinada inclinada. Bodegas Ramón Bilbao, La Rioja.	Fuente: <a href="https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/referencias/bodegas-ramon-bilbao-la-rioja">https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/referencias/bodegas-ramon-bilbao-la-rioja</a>			

Fig. 2.11	Plancha rígida de espuma de poliestireno extruido (XPS).	Fuente: <a href="https://www.danosa.com/es-es/producto/danopren-tr/">https://www.danosa.com/es-es/producto/danopren-tr/</a>	Fig. 2.18	Especie Suculenta. Sedum Sediforme.	Fuente: <a href="https://www.floresyplantas.net/sedum-sediforme/">https://www.floresyplantas.net/sedum-sediforme/</a>
Fig. 2.12	Lámina drenante/retenedora de agua de polietileno de alta densidad (HDPE).	Fuente: <a href="https://www.bmigroup.com/es/p/chovadren-1633647233/?pathname=%2Fes%2Fcubierta-plana%2Fmembranas-drenantes%2F">https://www.bmigroup.com/es/p/chovadren-1633647233/?pathname=%2Fes%2Fcubierta-plana%2Fmembranas-drenantes%2F</a>	Fig. 2.19	Especie Perennifolia. Stachys byzantina.	Fuente: <a href="https://identify.plantnet.org/es/the-plant-list/observations/1009512090">https://identify.plantnet.org/es/the-plant-list/observations/1009512090</a>
Fig. 2.13	Geotextil de poliéster 200 gr/m2.	Fuente: <a href="https://www.cgcmirasi.com/product/2010-geotextil-de-poliester-200-100/">https://www.cgcmirasi.com/product/2010-geotextil-de-poliester-200-100/</a>	Fig. 2.20	Especie Vivaz. Iris Lutescens.	Fuente: <a href="https://www.florasilvestre.es/mediterranea/">https://www.florasilvestre.es/mediterranea/</a>
Fig. 2.14	Diferentes sustratos comerciales	Fuente: Julià Coma, Alvaro de Gracia, Marta Chàfer, Gabriel Pérez, Luisa F. Cabeza. 2017. Thermal characterization of different substrates under dried conditions for extensive green roofs.	Fig. 2.21	Especie Subarbustiva Santolina chamaecyparissus.	Fuente: <a href="https://www.florasilvestre.es/mediterranea/">https://www.florasilvestre.es/mediterranea/</a>
Fig. 2.15	Arcilla expandida.	Fuente: <a href="https://thgrows.com/es/sustratos/1183-arlita-hydroton.html">https://thgrows.com/es/sustratos/1183-arlita-hydroton.html</a>	Fig. 2.22	Especie Arbustiva. Rosmarinus officinalis.	Fuente: <a href="https://www.centrodejardineriacardeu.com/romero-rosmarinus-officinalis-b9d/">https://www.centrodejardineriacardeu.com/romero-rosmarinus-officinalis-b9d/</a>
Fig. 2.16	Ladrillo triturado.	Fuente: <a href="https://topeca.pt/es/product/brita-de-tijolo">https://topeca.pt/es/product/brita-de-tijolo</a>	Fig. 2.23	Especie Arborea. Olea europaea.	Fuente: <a href="https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Olea_europaea.htm">https://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Olea_europaea.htm</a>
Fig. 2.17	Compost.	Fuente: <a href="https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/como-hacer-composta-en-casa-el-secreto-para-un-jardin-saludable-y-ecologico.html">https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/como-hacer-composta-en-casa-el-secreto-para-un-jardin-saludable-y-ecologico.html</a>	Fig. 2.24	Encuentro de cubierta ajardinada invertida con sumidero.	Fuente: Elaboración propia

Fig. 2.25	Sistema antideslizamiento Georaster® de ZinCo.	Fuente: <a href="https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-inclinada-hasta-35">https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-inclinada-hasta-35</a>	Fig. 2.33	Esquema representativo de una cubierta ajardinada semi-intensiva.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.26	Pavimento sobre cubierta ajardinada.	Fuente: <a href="https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-jardin">https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-jardin</a>	Fig. 2.34	Esquema representativo de una cubierta ajardinada intensiva.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.27	Encuentro de cubierta ajardinada invertida con paramento vertical.	Fuente: Elaboración propia	Fig. 2.35	Esquema representativo de una cubierta ajardinada huerto.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.28	Junta de dilatación en cubierta ajardinada.	Fuente: Elaboración propia	Fig. 2.36	Esquema representativo de una cubierta ajardinada aljibe.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.29	Medidas de seguridad a tomar si se planta una especie arbórea.	Fuente: Trees on rooftops. Guidelines and planting considerations. Singaore government	Fig. 2.37	Esquema representativo de una cubierta ajardinada generadora de energía.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.30	Ejemplo de cubierta ajardinada.	Fuente: <a href="https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-jardin">https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-jardin</a>	Fig. 2.38	Esquema representativo de una cubierta ajardinada naturalizada.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.31	Diagramas representativos de los tipos de cubierta ajardinada.	Fuente: Ayuntamiento de Barcelona <sup>14</sup>	Fig. 2.39	Ejemplo de cubierta ajardinada naturalizada.	Fuente: <a href="https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-verde-biodiversa">https://zinco-cubiertas-ecologicas.es/sistemas/cubierta-verde-biodiversa</a>
Fig. 2.32	Esquema representativo de una cubierta ajardinada extensiva.	Fuente: Elaboración propia	Fig. 2.40	Vista frontal del ACROS Fukuoka Prefectural International Hall, Japón.	Fuente: <a href="https://metaefficient.com/architecture-and-building/amazing-green-building-the-acros-fukuoka.html">https://metaefficient.com/architecture-and-building/amazing-green-building-the-acros-fukuoka.html</a>

---

Fig. 2.41	Diferentes ajardinamientos en el Parkroyal hotel, Singapur.	Fuente: <a href="https://www.booking.com/hotel/sg/parkroyal-on-pickering.es.html">https://www.booking.com/hotel/sg/parkroyal-on-pickering.es.html</a>
Fig. 2.42	Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.43	Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva para rehabilitación.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.44	Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva inclinada.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.45	Solución constructiva de cubierta ajardinada extensiva generadora de energía.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.46	Solución constructiva de cubierta ajardinada semi-intensiva	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.47	Solución constructiva de cubierta ajardinada naturalizada.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.48	Solución constructiva de cubierta ajardinada intensiva.	Fuente: Elaboración propia

---

---

Fig. 2.49	Solución constructiva de cubierta ajardinada huerto.	Fuente: Elaboración propia
Fig. 2.50	Cubierta ajardinada del Centre for Sustainable Chemistry de la universidad de Nottingham, UK.	Fuente: <a href="https://www.usgbc.org/projects/centre-sustainable-chemistry">https://www.usgbc.org/projects/centre-sustainable-chemistry</a>

---

## V.2. Tablas

Tabla 1	Grosos de la capa de sustrato para distintos grupos de vegetación	Elaboración propia. Fuente: NTJ 11C <sup>24</sup>
Tabla 2	Valores recomendados para sustratos de cubiertas ajardinadas	Elaboración propia. Fuente: NTJ 11C <sup>24</sup>
Tabla 3	Valores orientativos del coeficiente de escorrentía	Elaboración propia. Fuente: FLL <sup>3</sup>
Tabla 4	Tareas de mantenimiento de las cubiertas ajardinadas	Elaboración Propia. Fuente: Ayuntamiento de Barcelona <sup>14</sup> y Garcia, J. <sup>8</sup>



### V.3. Bibliografía

- 1 Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency and the United Nations Environment Programme (2019), 2019. Global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.
- 2 Gobierno de España, 2022. Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org>. Acceso 12/06/2024.
- 3 Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL), 2018. Green Roof Guidelines. Friedensplatz 4, 53111 Bonn. Editor: Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL).
- 4 United Nations. 2024. Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. Acceso: 19/06/2024.
- 5 Real Academia Española. 2024. Diccionario de la lengua española. Definición de "cubierta". <https://dle.rae.es/cubierta> Acceso: 19/06/2024.
- 6 Álvarez González, M.<sup>a</sup> Ángeles. 2019. Clasificación de las cubiertas. <http://hdl.handle.net/10251/119695>.
- 7 Britto Correa, Celina. 2001. Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica. Tesis doctoral. Universidad politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de arquitectura de Madrid.
- 8 Garcia Borràs, Júlia. 2023. Estudio hidrotérmico de cubiertas ajardinadas. Análisis y recomendaciones de diseño para una mayor eficiencia energética. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València. Escola Tècnica Superior d'Arquitectura.
- 9 Ekaterini Eumorfopoulou, Dimitris Aravantinos. 1998. The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece, Energy and Buildings, Volume 27, Issue 1, Pages 29-36, ISSN 0378-7788, DOI: 10.1016/S0378-7788(97)00023-6.
- 10 Gernot, Minke. 2004. Techos verdes: planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo, Editorial Fin de Siglo. ISBN: 9974-49-323-4.
- 11 Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., Mihalakakou, G. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings, 33(7), 719-729. DOI: 10.1016/S0378-7788(01)00062-7.
- 12 Hong Seok Yang, Jian Kang, Min Sung Choi. 2012. Acoustic effects of green roof systems on a low-profiled structure at street level, Building and Environment, Volume 50, Pages 44-55, ISSN 0360-1323, DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.10.004.
- 13 Maureen Connelly, Murray Hodgson. 2013. Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs, Applied Acoustics, Volume 74, Issue 10, Pages 1136-1143, ISSN 0003-682X, DOI: 10.1016/j.apacoust.2013.04.003.
- 14 Ayuntamiento de Barcelona. 2015. Guía de azoteas vivas y cubiertas verdes. Área de Ecología Urbana, Ayuntamiento de Barcelona. <http://hdl.handle.net/11703/86542> Acceso: 19/06/2024.

- 15 Fioretti, R., Palla, A., Lanza, L.G., Principi, P. 2010. Green roof energy and water related performance in the Mediterranean climate. *Building and Environment*, 45(8), 1890-1904. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.03.001.
- 16 Berardi, Umberto. 2016. The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*, Volume 121, Pages 217-229, ISSN 0378-7788, DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.03.021.
- 17 A.F. Speak, J.J. Rothwell, S.J. Lindley, C.L. Smith. 2013. Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate*, Volume 3, Pages 40-55, ISSN 2212-0955, DOI: 10.1016/j.uclim.2013.01.001.
- 18 Nyuk Hien Wong, Yu Chen, Chui Leng Ong, Angelia Sia. 2003. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment, *Building and Environment*, Volume 38, Issue 2, Pages 261-270, ISSN 0360-1323, DOI: 10.1016/S0360-1323(02)00066-5.
- 19 Green Roof Organisation. 2021. *The Green Roof Code*. Green Roof Organisation Ltd, 16 Gaston, Way, Shepperton, Surrey, TW17 8EX. ISBN: 978-1-5272-8739-6.
- 20 Brenneisen, Stephan. 2006. Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban habitats*, volume 4, number 1, Pages 27-33 ISSN 1541-7115.
- 21 Muhammad Shafique, Reeho Kim, Muhammad Rafiq. 2018. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 90, Pages 757-773, ISSN 1364-0321, DOI: 10.1016/j.rser.2018.04.006.
- 22 Kuppusamy, Vijayaraghavan. 2016. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 57. 740-752. DOI: 10.1016/j.rser.2015.12.119.
- 23 Danosa España. 2014. *Dossier técnico: cubiertas ajardinadas*. 19290 Fontanar – Guadalajara.
- 24 Fundació de la Jardineria i el Paisatge. 2012. *Normas Tecnológicas de Jardineria y Paisajismo NTJ 11C, "Ajardinamientos especiales. Cubiertas Verdes"*. ISBN: 978-84-96564-02-2.
- 25 Íñigo Cruz, Alba. 2017. *La cubierta verde como mejora del comportamiento energético en Alicante*. Trabajo fin de grado. Universidad de Alicante.
- 26 Cascone, Stefano. 2019. *Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials*. University of Catania
- 27 National Parks Board. 2017. *Trees on rooftops. Guidelines and planning considerations*. Skyrise greenery. Singapore government.
- 28 Ampim, Peter & Sloan, J. & Cabrera, Raul & Harp, Derald & Jaber, Fouad. 2010. Green roof growing media: Types, ingredients, composition and properties. *Journal of Environmental Horticulture*. 28. 244-252. 10.24266/0738-2898-28.4.244.
- 29 M. Razzaghmanesh, S. Beecham, C.J. Brien. 2014. Developing resilient green roofs in a dry climate, *Science of The Total Environment*, Volume 490, Pages 579-589, ISSN 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.040.

- 30 Eksi, Mert & Rowe, D. 2019. Effect of substrate depth and type on plant growth for extensive green roofs in a mediterranean climate. *Journal of Green Building*. 14. 29-44. 10.3992/1943-4618.14.2.29.
- 31 Dimitra S. Varela-Stasinopoulou, Panayiotis A. Nektarios, George F. Tsanakas, Nikolaos Ntoulas, Georgios I. Roukounakis, Athanasios S. Economou. 2023 Impact of substrate depth and irrigation regime on growth, flowering and physiological indices of Greek sage (*Salvia fruticosa* Mill.) grown on urban extensive green roof systems, *Ecological Engineering*, Volume 186, 106816, ISSN 0925-8574, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2022.106816.
- 32 VanWoert, Nicholas & Rowe, D. & Andresen, Jeff & Rugh, Clayton & Xiao, Lan. 2005. Watering Regime and Green Roof Substrate Design Affect Sedum Plant Growth. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*. 40. 10.21273/HORTSCI.40.3.659.
- 33 Dunnett, Nigel & Nagase, Ayako & Hallam, Adrian. 2008. The dynamics of planted and colonising species on a green roof over six growing seasons 2001-2006: Influence of substrate depth. *Urban Ecosystems*. 11. 373-384. 10.1007/s11252-007-0042-7.
- 34 Kotsiris, George & Nektarios, Panayiotis & Paraskevopoulou, Angeliki. 2012. *Lavandula angustifolia* Growth and Physiology Is Affected by Substrate Type and Depth When Grown under Mediterranean Semi-intensive Green Roof Conditions. *HortScience: a publication of the American Society for Horticultural Science*. 47. 10.21273/HORTSCI.47.2.311.
- 35 López-Lopez, N. & Calaza, Pedro & Pérez-Alborés, R.M. & López-Fabal, A. 2013. Comportamiento hídrico de sustratos empleados en cubiertas ajardinadas. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*. Vol XI.
- 36 Valera García, Pedro. 2016. Estudio del comportamiento de sustratos para su uso como cubierta ecológica en el Sureste de España. Trabajo fin de grado. Universidad Politécnica de Cartagena.
- 37 Mert Eksi, D. Bradley Rowe, Rafael Fernández-Cañero, Bert M. Cregg. 2015. Effect of substrate compost percentage on green roof vegetable production, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 14, Issue 2, Pages 315-322, ISSN 1618-8667, DOI: 10.1016/j.ufug.2015.03.006.
- 38 Nektarios, Panayiotis & Kokkinou, Iro & Ntoulas, Nikolaos. 2020. The effects of substrate depth and irrigation regime, on seeded Sedum species grown on urban extensive green roof systems under semi-arid Mediterranean climatic conditions. *Journal of Environmental Management*. 279. 111607. 10.1016/j.jenvman.2020.111607.
- 39 Tijana Blanus, M. Madalena Vaz Monteiro, Federica Fantozzi, Eleni Vysini, Yu Li, Ross W.F. Cameron. 2013. Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? *Building and Environment*, Volume 59, Pages 99-106, ISSN 0360-1323, DOI: 10.1016/j.buildenv.2012.08.011.
- 40 Veriozka Andrea Azeñas Mallea. 2017. Evaluation of native mediterranean plant species for extensive vegetated roofs and environmental performance. Tesis doctoral. Universitat de les Illes Balears
- 41 Hui Zhang, Xifeng Fan, Lipeng Ren, Yi Jiang, Juying Wu, Hui Zhao, Crassulacean plant succession over eight years on an unirrigated green

- roof in Beijing. 2021. *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 63, 127189, ISSN 1618-8667, DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127189.
- 42 John P. Rayner, Claire Farrell, Kirsten J. Raynor, Susan M. Murphy, Nicholas S.G. Williams. 2016. Plant establishment on a green roof under extreme hot and dry conditions: The importance of leaf succulence in plant selection, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 15, Pages 6-14, ISSN 1618-8667, DOI: 10.1016/j.ufug.2015.11.004.
- 43 Antonio Vestrella. 2016. Cubiertas ajardinadas en ambiente mediterráneo: aspectos ecofisiológicos y agronómicos. Tesis doctoral. Universitat de Barcelona.
- 44 Boussetot, Jennifer & Schneider, Amy & Fusco, Mark. 2014. Observations on the survival of 112 plant taxa on a green roof in a semi-arid climate. 1. 10.6084/m9.figshare.11977821.
- 45 Lundholm, Jeremy & MacIvor, J Scott & Macdougall, Zachary & Ranalli, Melissa. 2010. Plant Species and Functional Group Combinations Affect Green Roof Ecosystem Functions. *PloS one*. 5. e9677. 10.1371/journal.pone.0009677.
- 46 Boussetot, Jennifer & Slabe, Thomas & Klett, James & Koski, Ronda. 2017. Photovoltaic Array Influences the Growth of Green Roof Plants. *Journal of Living Architecture*. 4. 9-18. 10.46534/jliv.2017.04.03.009.
- 47 Chr. Lamnatou, D. Chemisana. 2015. A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 43, Pages 264-280, ISSN 1364-0321, DOI: 10.1016/j.rser.2014.11.048.
- 48 Gallego, Encarna & Parra, Alfonso & Belmonte, Raúl & Cano, Ángel & Gómez-López, M<sup>a</sup> Dolores. 2019. Guía de especies vegetales de la cuenca mediterránea aptas para revegetación: Adecuación para zonas degradadas y contaminadas. Universidad Politécnica de Cartagena.
- 49 Generalitat Valenciana, Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda, Fraga i Arguimbau, Pere. 2009. Jardinería mediterránea sin especies invasoras. ISBN 978-84-482-5256-4. Editor: Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana.
- 50 ZinCo. 2021. Guía de planificación. Sistemas para cubiertas verdes extensivas.

## ANEXOS

**Anexo 1: Listado de especies vegetales  
recomendadas para su uso en cubiertas  
ajardinadas del mediterráneo.**

Las diferentes especies han sido extraídas de los estudios analizados durante la elaboración de este trabajo, de la NTJ 11C<sup>24</sup>, de la *Guía de especies vegetales de la cuenca mediterránea aptas para revegetación* de Conesa, E. et al.<sup>48</sup>, y de la *Guía de planificación: Sistemas para cubiertas verdes extensivas* de ZinCo<sup>50</sup>.

Cabe destacar que las especies que aparecen en esta lista no son las únicas que puedan ser adecuadas para su uso, son únicamente las que después de haber sido contrastadas con lo estudiado a lo largo de este trabajo han sido consideradas recomendables para las diferentes propuestas.

**Suculentas**

*Aptenia Cordifolia*

*Crassula Lactea*

*Delosperma Cooperi*

*Delosperma Lineare*

*Disphyma Crassifolium*

*Graptopetalum Paraguayense*

*Lampranthus Deltoidess*

*Pachyphytum Oviferum*

*Ruschia Prostrata*

*Sedum Album*

*Sedum Clavatum*

*Sedum Pachyphyllum*

*Sedum Rubrotinctum*

*Sedum Sediforme*

*Sedum Spurium*

**Herbaceas Perennifolias**

*Arenaria Balearica*

*Armeria Maritima*

*Asteriscus Maritimus*

*Bergenia Cordifolia*

*Centaurea Seridis*

*Chrysanthemum Coronarium*

*Cerastium Tomentosum*

*Cistus Salviifolius*

*Diplotaxis Harra*

*Gazania Rigens*

*Hedera Hibernica*

*Helichrysum Decumbens*

*Hyparrhenia Hirta*

*Hyssopus Officinalis*

*Limonium Virgatum*

*Lotus Criticus*

*Medicago Marina*

*Osteospermum Barberae*

*Phyla Nodiflora*

*Rhodanthemum Hosmariense*

*Satureja Montana*

*Scabiosa Farinose*

*Stachys Byzantina*

*Stipa Tenacissim*

*Verbena Tenera*

**Vivaces**

*Allium Sphaerocephalon*

*Asphodelus Albus*

*Iris Lutescens*

*Zephyranthes Grandiflora*

**Subarbustivas**

*Ajania Pacifica*

*Asparagus Horridus*

*Centranthus Ruber*

*Cistus Albidus*

*Geranium Molle*

*Helichrysum Rupestre*

*Helichrysum Stoechas*

*Lamium Maculatum*

*Lavandula Angustifolia*

*Lavandula Dentata*

*Limonium Pectinatum*

*Origanum Vulgare*

*Pelargonium X Fragrans*

*Phlomis Itálica*

*Santolina Chamaecyparissus*

*Santolina Rosmarinifolia*

*Staehelina Dubia*

*Teucrium Chamaedrys*

*Thymus Hyemalis*

*Thymus Serpyllum*

*Thymus Vulgaris*

**Arbustivas Y Arbóreas**

*Atriplex Halimus*

*Brachypodium Phoenicoides*

*Chamaerops Humilis*

*Dittrichia Viscosa*

*Foeniculum Vulgare*

*Nerium Oleander*

*Pistacia Lenticus*

*Rosmarinus Officinalis*