

5. Cubiertas y fachadas vegetales

Las cubiertas y fachadas son la primera superficie receptora del agua de lluvia en la edificación y representan una oportunidad única para restaurar el ciclo natural del agua.

En los entornos urbanos, la ausencia de vegetación y el uso generalizado de superficies impermeables (asfalto y hormigón) genera problemas ambientales. El suelo urbano es además un bien escaso y preciado, por lo que se tiende a su total ocupación.

Un edificio que cuenta con una cubierta o fachada vegetal, parcial o totalmente revestida de vegetación, recupera parte de la infiltración al terreno, la capacidad depuradora del suelo y la capacidad de evapotranspiración de la vegetación y de los circuitos hídricos preexistentes.



Figura 115. Fachada vegetada en Madrid.

5.1. Justificación

Las ventajas por la utilización de cubiertas y fachadas vegetales son:

- | La retención de agua.
- | La creación de hábitats y la mejora ambiental y estética del entorno.
- | El aislamiento térmico y la reducción de las pérdidas energéticas.
- | La captura de polvo y de otros elementos en suspensión.
- | El aislamiento acústico.
- | La captación de dióxido de carbono (CO₂).
- | La protección de los componentes de la cubierta.
- | La producción de alimentos en huertos urbanos.
- | La reducción del efecto "isla de calor".
- | La regulación de la humedad.

La retención de agua

La cubierta vegetal es la primera superficie de contacto con el agua de lluvia. El agua que se almacena en el sustrato es absorbida por las plantas y devuelta a la atmósfera mediante la evapotranspiración. En verano, dependiendo de las especies y de la profundidad del sustrato, la cubierta vegetal puede retener entre el 70 y el 90 % de las precipitaciones que recibe. En invierno, retiene entre un 25 y 40 %. De esta forma se disminuye el caudal pico de vertido a la red de saneamiento o el alcantarillado, con un retardo de vertido que puede alcanzar las doce horas.



Figura 116. Cubierta vegetal con retención de agua.

La creación de hábitats y la mejora ambiental y estética del entorno

La incorporación de cubiertas y fachadas vegetales permite recuperar parte de la biodiversidad perdida. En los casos en los que el sustrato es profundo y no transitable se convierten en pequeños hábitats donde las plantas crecen sin ser dañadas, las aves pueden anidar en el suelo y los insectos proliferan.

El aislamiento térmico y la reducción de las pérdidas energéticas

Las cubiertas vegetales aíslan los edificios evitando la exposición directa de la cubierta

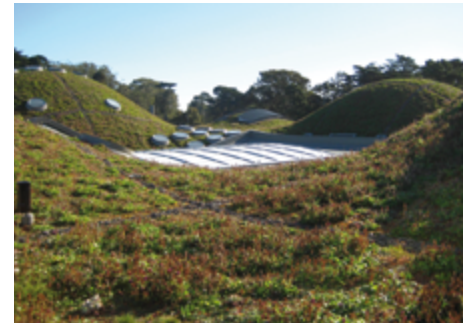


Figura 117. Cubierta del Museo de la Academia de Ciencias de California.

y añaden sombra de protección. El aire encerrado en el sustrato y entre las plantas actúa como aislamiento. Gracias a la cubierta vegetal una parte de la radiación solar es reflejada, reduciendo la cantidad que penetra en el edificio.

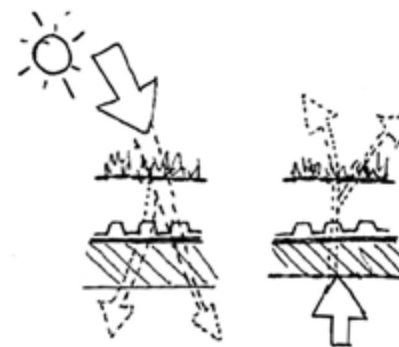


Figura 118. Mejora del aislamiento térmico.

La cubierta vegetal reduce el calentamiento interno en verano y la pérdida de calor en invierno, disminuyendo la demanda energética por climatización y mejorando la durabilidad de los materiales de impermeabilización y aislamiento.

En un día caluroso la temperatura de una cubierta de grava puede oscilar entre 25 y 70 °C, mientras que con una cubierta vegetal la temperatura no subirá por encima de 25 °C. Una vivienda unifamiliar tipo con una cubierta vegetal de 10 cm ahorra hasta un 10 % en el consumo por aire acondicionado.

En definitiva, el uso de la cubierta vegetal reduce significativamente la demanda energética de un edificio.

La captura de polvo y de otros elementos en suspensión

La cubierta vegetal filtra el aire, atrapa el polvo que se encuentra en la atmósfera y –con la lluvia– lo retiene y procesa en el suelo. Un metro cuadrado de superficie vegetal puede eliminar hasta 2 kg de partículas de polvo del aire al año.

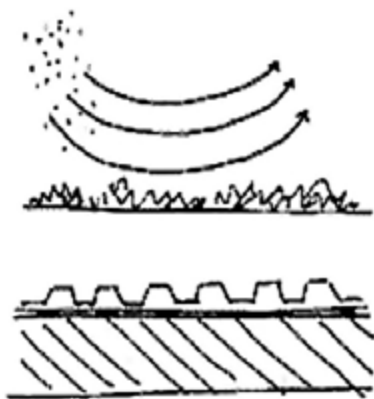


Figura 119. Captura de polvo.

El aislamiento acústico

El sustrato, las plantas y el resto de elementos que componen la cubierta vegetal favorecen el aislamiento acústico. Las ondas de sonido producidas por maquinaria, tráfico o aviones pueden ser absorbidas, reflejadas o desviadas. El sustrato tiende a bloquear bajas frecuencias de onda; la vegetación las altas frecuencias.

Una cubierta vegetal con 12 cm de sustrato puede reducir el sonido en 40 decibelios y con 8 cm más de sustrato se pueden alcanzar reducciones hasta de 50 decibelios.

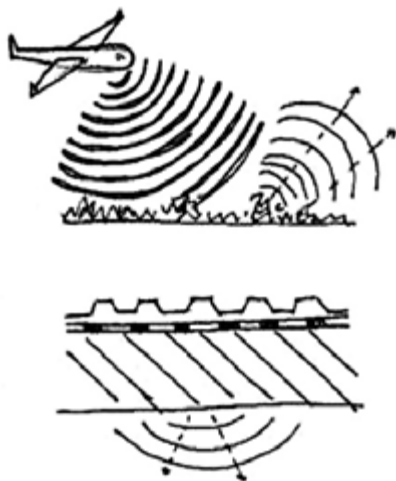


Figura 120. Aislamiento acústico.

La captación de dióxido de carbono (CO₂)

La vegetación convierte el CO₂, el agua y la luz solar en oxígeno y glucosa mediante la fotosíntesis. Una cubierta vegetal de especies her-

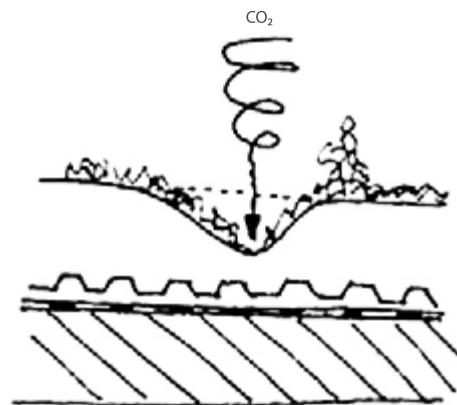


Figura 121. Sumidero de CO₂.

báceas tipo Sedum con un sustrato inferior a 15 cm puede fijar 375 gramos de carbono por metro cuadrado. Si en la ciudad de Detroit se cubriesen todas las cubiertas de sus edificios con plantas tipo Sedum, se conseguiría una reducción de CO₂ equivalente a retirar de sus calles diez mil vehículos todoterreno al año, además de mejorar la eficiencia energética de la edificación y reducir sus emisiones.

La protección de los componentes de la cubierta

La cubierta vegetal consigue una protección óptima del impermeabilizante y de los demás componentes de la cubierta, prolongando notablemente su durabilidad y reduciendo los gastos derivados de mantenimiento y de sustitución de los elementos dañados.

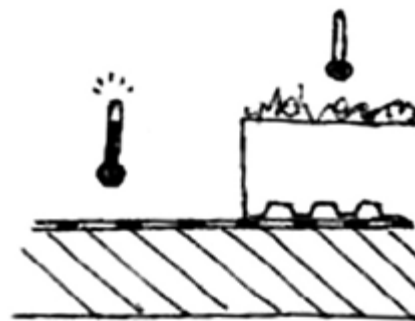


Figura 122. Protección de los componentes de cubierta.

La producción de alimentos en huertos urbanos

Los huertos urbanos situados en las azoteas de las ciudades representan actualmente un

movimiento en auge. Para su creación existen dos opciones: la plantación sobre la cubierta con un sustrato de 40 a 60 cm de espesor o la plantación en maceteros más o menos elevados con un sustrato.

En ambos casos las necesidades hídricas de estos cultivos son elevadas y es necesario emplear un sustrato orgánico rico en nutrientes, pudiéndose reutilizar el compost producido en el propio huerto.

Algunos casos representativos son: el huerto urbano Brooklyn Grange en Nueva York, que ocupa 3.700 m² en las azoteas de la zona urbana de Northern Boulevard; el huerto urbano de San Petersburgo, en el que las hortalizas cultivadas contienen menos metales pesados que las comercializadas y el Restaurante Uncommonground de Chicago, que cultiva en la cubierta sus propios vegetales.

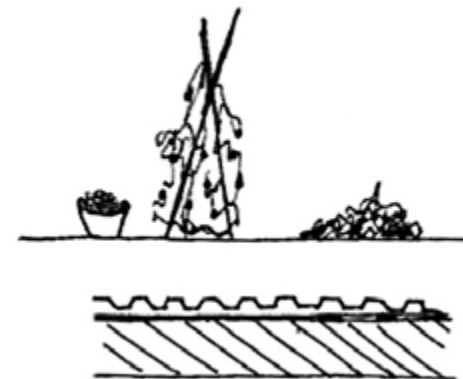


Figura 123. Producción de alimentos.



Figura 124. Huerto urbano en Brooklyn, EEUU.



Figura 126. Mercado de San Antón, Madrid.



Figura 125. Restaurante Uncommonground en Chicago.



Figura 127. Huerting Callao, Madrid.

La reducción del efecto “isla de calor”

La cubierta verde modera el efecto urbano de la isla de calor. A través de la evapotranspiración, la vegetación refresca el entorno en los meses de verano, absorbiendo calor al evaporar agua (cerca de 592 Kcal por litro de agua). Un metro cuadrado de vegetación puede evaporar más de medio litro de agua en un día caluroso y hasta 700 litros de agua anuales.

La regulación de la humedad

En condiciones de aire seco, la vegetación evapora parte del agua que tiene almacenada, elevando la humedad relativa del aire. En condiciones de aire húmedo, la vegetación propicia la condensación de agua, produciendo rocío y reduciendo la humedad relativa del aire.

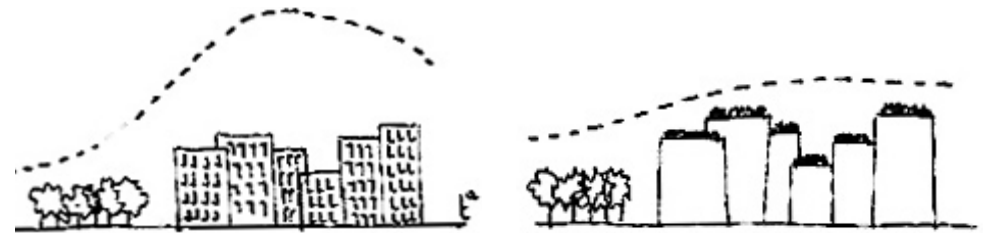


Figura 128. Esquema reducción efecto isla de calor en ciudades por cubierta vegetal.

5.2. Condicionantes de diseño

Para el correcto diseño de una cubierta vegetal se debe tener en cuenta:

- | La densidad de la vegetación.
- | La inclinación de la cubierta.
- | El tipo de ajardinamiento.
- | El peso de la cubierta.
- | La altura, localización y orientación de la cubierta.
- | La accesibilidad a la cubierta.
- | El desagüe de pluviales.

La densidad de la vegetación

Cuanto mayor sea la densidad vegetal, mayores beneficios obtendremos. En la tabla siguiente se recoge el valor de la superficie de hoja en función del tipo de especie vegetal.

Superficie de hoja de diferentes formas de vegetación		
Vegetación	Superficie de hoja en un m ² de cubierta	
Césped	3 cm de altura	6 m ²
	5 cm de altura	9 m ²
Pradera con pastos hasta 60 cm de altura	Hasta 225 m ²	
Techo de pasto en verano	Más de 100 m ²	
Sedum hasta 8 cm de altura	1 m ²	
Sedum denso hasta 10 cm de altura	2,4 m ²	
Vid silvestre en fachada	10 cm de espesor	3 m ²
	20 cm de espesor	5 m ²
Hiedra en fachada de 25 cm de espesor	11,8 m ²	

La inclinación de la cubierta

Para cubiertas planas de hasta un 5 % de pendiente se recomienda el uso de un sistema de drenaje que evite el encharcamiento de las raíces. En inclinaciones superiores al 40 % se deben incorporar elementos auxiliares que eviten la pérdida del sustrato por deslizamiento.

El tipo de ajardinamiento

El jardín de cubierta. El mantenimiento de este tipo de cubierta es intensivo y precisa de un sustrato mayor de 20 cm de espesor. Su coste económico es elevado, permite gran variedad de plantaciones y es exclusivo de las cubiertas planas.

La cubierta vegetal extensiva. Se da en cubiertas planas e inclinadas. La vegetación utilizada es sencilla –habitualmente Sedum–, llegando a crecer sin apenas mantenimiento y riego. Precisa poco sustrato, por lo que supone baja sobrecarga en la estructura de la edificación.

El huerto urbano. Es un espacio de cultivo cuyo rendimiento productivo es menor que el huerto tradicional debido a su mayor exposición al viento, las variaciones de temperatura y la humedad.

La altura, localización y orientación de la cubierta

La incidencia del viento y la radiación solar influyen en la evaporación, representando un condicionante a la hora de seleccionar las especies vegetales apropiadas.

La altura de los edificios aumenta la incidencia del viento y la pérdida de agua por evaporación en las plantas, la orientación de las fachadas afecta a la necesidad de riego debido a la mayor o menor incidencia del sol y, por tanto, a la selección de la especie en función de su necesidad hídrica.

La accesibilidad a la cubierta

En cubiertas extensivas el acceso debe estar restringido a las tareas de mantenimiento. En cubiertas intensivas se recomienda incluir zonas de acceso peatonal o rodado con pavimentos adecuados en caminos y terrazas, y con paramentos verticales que protejan de las caídas.

El desagüe de pluviales

La recogida de agua de pluviales puede reducirse notablemente gracias a la capacidad de retención de agua de la cubierta vegetal. En cubiertas extensivas con menos de 10 cm de sustrato la cantidad desaguada es del 50 %, mientras que en cubiertas intensivas y extensivas con más de 10 cm de sustrato se desagua el 30 % de la lluvia recibida.

Cantidad de sustrato	Peso (kg/m ²)
> 20 cm de sustrato (22-27 cm)	Peso seco: 220-800 Peso saturado: 300-1.100
< 20 cm de sustrato (10-13 cm)	Peso seco: 70-80 Peso saturado: 110-115

El peso de la cubierta

La cubierta vegetal implica una sobrecarga en la estructura del edificio que habrá que tener en cuenta al realizar obras de rehabilitación, garantizando el cumplimiento de las condiciones de estabilidad marcadas por la normativa vigente en el *Código Técnico de la Edificación*.

5.3. Elementos configuradores

La cubierta vegetal

Los principales elementos configuradores de una cubierta vegetal son:

| **El soporte estructural de cubierta.** La cubierta vegetal implica sobrecarga en la estructura original del edificio por lo que debe comprobarse si dicho incremento de peso es asumible por la estructura existente.

| **La lámina impermeabilizante con antirraíz.** Es el elemento encargado de asegurar la hermeticidad de la cubierta. En cubiertas vegetales, la lámina impermeabilizante debe ser siempre antirraíces, especialmente en cubiertas inclinadas. En caso contrario, se recomienda colocar una lámina antirraíces sobre la lámina impermeabilizante; además, en las láminas bituminosas se debe prestar especial atención a las zonas de solape.

| **El aislamiento térmico.** Se recomienda colocar el aislante en la cara más externa del forjado y cuando el aislamiento existente no sea suficiente, se suplementará con una capa de aislamiento térmico, preferentemente de poliestireno extrusionado (XPS), sobre la lámina impermeabilizante.

| **La lámina separadora, antideslizante o protectora.** Protege la impermeabilización de la cubierta de los esfuerzos de tracción y de

corte. Si se tiene como impermeabilizante un material químicamente intolerable como una lámina de PVC sobre betún, se debe colocar una lámina separadora neutra entre ambos elementos. En cubiertas invertidas no se deben emplear láminas separadoras sobre aislante, ya que se produciría condensación. La



Figura 129. Lámina separadora.

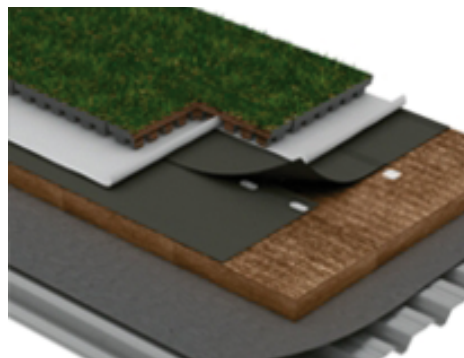


Figura 130. Elementos configuradores.

lámina puede ser de polietileno o de polipropileno, con espesores desde 0,2 a 2,5 mm, y habitualmente se comercializa en rollo.

| **La lámina antirraíz.** Protege la impermeabilización de la cubierta frente a la penetración de las raíces. Su colocación en impermeabi-



Figura 131. Manta retenedora de agua.



Figura 132. Sistema de drenaje por celdas plásticas.

lizante bituminoso es indispensable y debe ser compatible químicamente. Puede ser de poliolefina flexible (FPO), soldable con aire caliente, o de polietileno (PE), colocada suelta, con solapes de 150 cm. Se comercializa en rollo.

| **El retenedor de agua.** La manta retenedora captura el agua y los nutrientes, protege la lámina antirraíces y la lámina impermeabilizante de daños mecánicos y aporta aislamiento y amortiguación acústica. Generalmente se fabrica con fibras sintéticas de polipropileno o poliéster. Es termorresistente, compatible con materiales bituminosos, químicamente neutra y resistente al desgarramiento. Se recomienda colocarla con solapes de 10 cm, e incluso en capas dobles, aumentando así su efecto protector y retenedor. El espesor oscila entre 3 y 20 mm y su capacidad de retención de agua varía entre 3 y 12 l/m², según espesor. Se comercializa en rollo.

| **El sistema de drenaje.** La capa drenante crea una cámara de aire por donde se evacua el agua de cubierta; es un elemento indispensable para evitar problemas de hongos y pudrición en las raíces. Los sistemas recomendados para conseguir el drenaje son:

| **El sistema monocapa.** Está formado habitualmente por materiales porosos y livia-

nos de poro abierto, arcillas expandidas de granos gruesos, pizarra expandida o lava expandida. Se recomienda separarlo del sustrato mediante una lámina geotextil que evita la pérdida de finos. En capas de sustrato de 15 cm de espesor, se debe colocar una capa superior con 1/3 del volumen de material poroso y una capa inferior con 2/3 del volumen de material poroso.

| **El sistema prefabricado.** Está formado por elementos de polietileno reciclado que retienen el agua en concavidades, drenando el agua excedente por las perforaciones situadas en las partes altas del elemento. Se puede emplear tanto en cubiertas planas como inclinadas, con pequeñas variaciones en su diseño. Se comercializa tanto en



Figura 133. Plot regulable de polipropileno.

placa como en rollo, el espesor varía entre 25 y 60 mm y la capacidad de retención entre 10 y 27 l/m².

| **El plot regulable bajo pavimento flotante.**

Es un elemento de polipropileno regulable en altura que separa la zona de almacenamiento de agua de la cubierta vegetal quedando el riego garantizado a través de las mechas de conexión.

| **La lámina de geotextil.**

Es un filtro que evita la pérdida de sustrato y cubre el sistema de drenaje. Se fabrica en polipropileno o polietileno y se comercializa en rollo.

| **El sustrato.**

Es la capa soporte de la vegetación que sirve como material nutriente y de almacén de agua y oxígeno. Depende del tipo de vegetación a implantar y debe controlarse su acidez y el contenido en nutrientes. Su peso es uno de los principales condicionantes de diseño y su espesor puede reducirse hasta los 7 cm utilizando la vegetación adecuada. En la composición del sustrato se recomienda que el contenido en arcillas y limos sea menor al 20 % e incorporar entre el 25 y 75 % de material liviano (de mayor granulometría que el propio sustrato) como la piedra pómez, la arcilla expandida o la lava que aligere su peso y asegure una mejor oxigenación de las raíces.

Las empresas especializadas cuentan con sustratos preparados adecuados a cada tipo de vegetación. Es recomendable también un

sobresustrato que protege el sustrato del sol, evita que crezcan malas hierbas y mejora la captación de agua de rocío durante la noche, principal fuente de agua de la cubierta vegetal. Para el sobresustrato se recomienda utilizar grava volcánica, mulch, corteza de pino o grava de cuarzo.

| **El sustrato mineral.**

Es de grano grueso y se emplea como relleno de los elementos de drenaje en los sistemas monocapa o mezclado con el sustrato para aligerar el peso y aportar aire.

| **La vegetación.**

Se recomienda el uso de especies autóctonas; su selección tiene influencia directa en el resto de elementos configuradores. Por ejemplo, para plantar un árbol de porte medio es necesario al menos 1 m de tierra y una capa drenante de espesor y resistencia acordes.



Figura 135. Cubierta vegetal seca.

Para la adecuada elección de la vegetación se debe considerar el espesor disponible de sustrato por capacidad estructural y dimensiones, la inclinación de la cubierta, la exposición al viento, la orientación, las sombras y la pluviometría. Además, también se deberá tener en cuenta la resistencia a las sequías y heladas, la altura de crecimiento, la densidad, la calidad del suelo y el mantenimiento necesario.



Figura 134. Cubierta vegetal en floración.

La plantación de la vegetación puede realizarse mediante:

Semillas. En este caso se precisa un sustrato de espesor superior a 7 cm y es recomendable combinar la siembra de las semillas con la plantación de esquejes de Sedum. No son adecuadas especies anuales o de crecimiento rápido. Con este sistema se consiguen campos de hierbas o de gramíneas y prados de flores, necesiéndose en torno a 25 gr/m² en cubierta plana, y 40 gr/m² en cubiertas inclinadas.

La plantación directa de especies. Con la combinación de distintas especies se consigue variedad de colorido por floración en la cubierta. Empresas especializadas en cubiertas vegetales proponen combinaciones de plantas vivaces, de plantas intermedias de cubrimiento de superficie, de gramíneas (resistentes a la sequía y con gran capacidad de regeneración) o de esquejes de Sedum para cubiertas extensivas.

El cepellón plano. Es una bandeja plana especialmente diseñada para cubiertas vegetales, cubierta con plantas vivaces precultivadas en campo y que se puede emplear desde ajardinamientos extensivos hasta intensivos simples.

Especies vegetales para plantación directa				
Nombre botánico	Nombre popular	Altura (cm)	Color de floración	Mes de floración
Plantas vivaces en grupos de 3 a 7 plantas				
<i>Dianthus carthusianorum</i>	Clavelina de los cartujos	30-40	Rosa	6-9
<i>Festuca Cinerea-Hybride</i>	Festuca cinerea híbrida	25-30	Pardusco	6-7
<i>Gypsophila repens Rosea</i>	Alborada rosa	10-15	Rosa	5-7
<i>Helianthemum nummularium</i>	Heliantemo	5-10	Amarillo	5-7
<i>Koeleria glauca</i>	Koeleria glauca	20-40	Azulado	6-7
<i>Petrorhagia saxifraga</i>	Saxifraga	10-20	Rosa-blanco	6-9
<i>Saponaria ocyroides</i>	Falsa alfibrega	10-15	Rosa	5-7
<i>Satureja montana ssp. illyrica</i>	Ajedrea de montaña ilírica	10-15	Violeta	8-9
<i>Saxifraga paniculata</i>	Hierba de las piedras	20-25	Blanco	6-7
Híbridos de <i>Sempervivum</i>	Siemprevivas híbrida	10-20	Rojo-rosa	7-8
Plantaciones intermedias de cubrimiento de superficie				
<i>Antennaria dioica</i>	Pie de gato	3-10	Blanco-rosa	5-6
<i>Cerastium arvense</i>	Cuernecita compacta	5-6	Blanco	5-6
<i>Hieracium pilo sella</i>	Hierba de la salud	15-20	Amarillo	5-7
<i>Potentilla neumanniana</i>	Consueledas amarillas	10-15	Amarillo	3-4
<i>Prunella grandiflora</i>	Consueda mayor	20	Violeta	6-8
<i>Thymus doerfleri</i>	Tomillo	15-20		
<i>Thymus Bressingham</i>	Bressingham Seeding	6-8	Rosa	5-7
<i>Thymus serpyllum</i>	Serpol	4-5	Violeta	5-9
Gramíneas				
<i>Festuca ovina</i>	Cañuela ovina	25-30	Verde grisáceo	
<i>Festuca glauca</i>	Festuca azul	25-30	Azul brillante	
<i>Carex buchananii</i>	Carex	50	Anaranjado	
Esquejes				
<i>Sedum album</i>	Uva cana	5-10	Blanco-rosa	6-8
<i>Sedum cauticola</i>	Pata de conejo	10-15	Rosa	8-9
<i>Sedum floriferum</i>	Sedo	10-15	Amarillo	6-7
<i>Sedum hybridum</i>	Sedo híbrido	10-15	Amarillo	4-8
<i>Sedum reflexum</i>	Tripmadam	20-25	Amarillo	6-7
<i>Sedum sexangulare</i>	Sedo hexagonal	5-10	Amarillo	6-7
<i>Sedum spurium album superburn</i>	Sedo bastardo	10-15	Blanco	7-8
<i>Sedum spurium fuldaglut</i>	Sedo bastardo	10-15	Rojo	7-8
<i>Sedum spurium roseum superburn</i>	Sedo bastardo	10-15	Rosa	7-8

La alfombra vegetal. Es precultivada en campo durante un periodo de vegetación suficiente para cubrir la superficie de la cubierta vegetal. Se deben utilizar en cubiertas inclinadas o superficies expuestas al viento, se coloca sobre una bandeja putrescible y puede colonizarse por vegetación ajena. Las especies recomendadas son las de tipo Sedum, hierbas y gramíneas. Una variante son los soportes de fibra de coco, listos para colocar sobre las cubiertas con un sustrato de entre 6 y 10 cm; su uso depende de la situación y del clima.

Esta solución es muy útil en cubiertas inclinadas y en cubiertas planas para la protección contra viento. Se recomienda su colocación sobre una capa de sustrato de entre 2 y 3 cm de espesor para que la bandeja pueda enraizar.

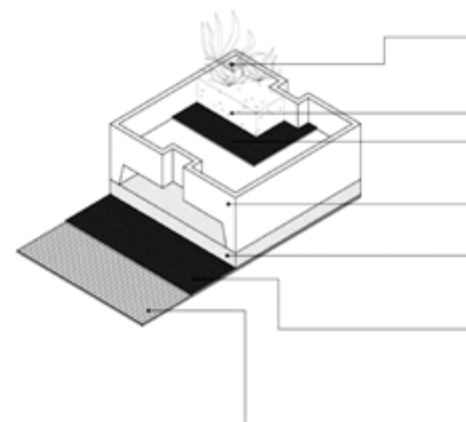
Otra solución modular, con un almacenamiento de agua mayor, es la propuesta por el Grupo ABIO (UPM). Consta de elementos prefabricados de hormigón ligero, sobre los que se colocan tepes prevegetados de bajo porte y aislamiento térmico. El peso total del sistema es de 224 kg/m².

Especies para la alfombra vegetal

Nombre botánico	Nombre popular	Altura (cm)	Color de floración	Mes de floración
<i>Sedum acre</i>	Pan de cuco	5	Amarillo	4-6
<i>Sedum album</i>	Uva cana	5-10	Blanco-rosa	6-8
<i>Sedum album murale</i>	Uva cana	5-10	Rosa blanquecino	6-8
<i>Sedum floriferum</i>	Sedo	10-15	Amarillo	6-7
<i>Sedum reflexum</i>	Tripmadam	20-25	Amarillo	6-7
<i>Sedum sexangulare</i>	Sedo hexagonal	5-10	Amarillo	6-7
<i>Sedum spurium fuldaglut</i>	Sedo bastardo	10-15	Rojo	7-8
<i>Delosperma</i>	Delosperma	5-10	Rosa fucsia	5-10

El elemento precultivado modular. Son bandejas de rejilla de polietileno de baja densidad (LDPE) rellenas con sustrato, cultivadas previamente a su colocación en cubierta y unidas entre sí mediante engranajes altamente resistentes. La especie cultivada puede ser del tipo Sedum o césped.

El elemento especial para cubiertas inclinadas (> 5°). Es un elemento prefabricado de espuma rígida reciclada (EPS) con botones estables en la cara superior que engranan con el sustrato y canaletas de drenaje en su cara inferior. Con este elemento se consigue que la vegetación tenga una superficie de agarre, evitando el deslizamiento.



- Vegetación autóctona de corta talla según el clima (hasta 20 cm)
- Sustrato de mezcla estratificada (0,09 m)
- Filtro sintético de fibras de poliéster, mecha (0,0015 m)
- Pieza de hormigón ligero (0,6 x 0,6 m)
- Aislante térmico de poliestireno extruido (espesor en función de normativa vigente).
- Membrana impermeabilizante y antirraíces de PVC-poli cloruro de vinilo plastificado, armada con un filtro de fibras de vidrio (0,00126 m)
- Membrana antipunzonamiento de fibras de poliéster (0,0026 m)

Figura 136. Elemento modular del Grupo ABIO.



Figura 137. Elementos precultivados modulares.

En cubiertas con una pendiente mayor a 25° se precisa un sistema especial que soporte las fuerzas de empuje producidas por la inclinación. En estos casos se utilizan elementos fabricados en polietileno de alta densidad con un nervio central que absorbe las fuerzas de empuje y que están unidos entre sí mediante perfiles T. Una vez montados, la superficie es transitable con seguridad.

La vegetación recomendada para cubiertas inclinadas debe estar formada por plantas de cepellón poco profundo. En cubiertas inclinadas con menos de 25° de pendiente se aconseja situar las plantas con floración en las superficies menos expuestas al sol y en grupos de 3 a 7 unidades. En este caso se pueden plantar tanto plantas vivaces como Sedum.

En cubiertas con inclinación mayor de 25° es mejor reducir la cantidad de plantas vivaces, puesto que el Sedum se mantie-

to. Las fuerzas de empuje producidas por la inclinación se desvían hacia el peto o hacia barreras antiempuje, calculadas según las condiciones dadas. En caso de que la cubierta esté expuesta a vientos fuertes o cuando la pendiente sea mayor a 15°, se añadirá un tejido de yute grueso en el sustrato bajo la vegetación.

ne mejor con poco agua y garantiza una mejor protección antierosiva. Si la cubierta tiene más de 30° de pendiente, se recomienda emplear sólo Sedum.

El porcentaje recomendado de cada una de las especies que cubren la superficie inclinada es: *Sedum album*, 10 %; *Sedum floriferum*, 40 %; *Sedum hybridum*, 20 %; *Sedum sexangulare*, 10 % y *Sedum spurium*, 20 %.

La densidad de plantación según la inclinación de la cubierta debe ser como mínimo de 20 plantas/m² para inclinaciones inferiores a 15°, de 24 plantas/m² para inclinaciones entre 15 y 20°, de 28 plantas/m² para inclinaciones entre 20 y 25° y de 34 plantas/m² para inclinaciones entre 25 y 30°.

La fachada vegetal

Los elementos configuradores de la fachada vegetal son:

| **El soporte del sistema.** Es un elemento vertical resistente que soporta la sobrecarga añadida. Si la fachada es resistente se puede emplear como soporte, en caso contrario se utilizará una estructura suplementaria adosada que cumpla la función portante.

| **La estructura auxiliar.** Estructura secundaria fijada al elemento soporte que genera además una cámara de aire mejorando las condiciones de aislamiento del edificio a través de la propia cámara de aire o mediante

la incorporación de una capa de aislamiento térmico imputrescible.

| **El sustrato.** Es el medio que aporta los nutrientes a la planta y sirve para el desarrollo de sus raíces. Este sustrato puede estar contenido en celdas de materiales metálicos, plásticos o textiles. También puede sustituirse por áridos de diverso tamaño confinados o por una tela de fieltro.

| **El riego.** Generalmente se realiza por goteo para facilitar su control y optimizar el consumo. También es habitual recoger los lixiviados del riego para reutilizarlos, llegando incluso a regar las fachadas vegetales con aguas grises de los edificios aprovechando la capacidad depurativa del sistema.

| **La vegetación.** Se recomienda que sea autóctona, de bajo consumo hídrico, resistente a heladas y altas temperaturas. Como método de plantación se pueden usar semillas, cepellones o elementos precultivados.

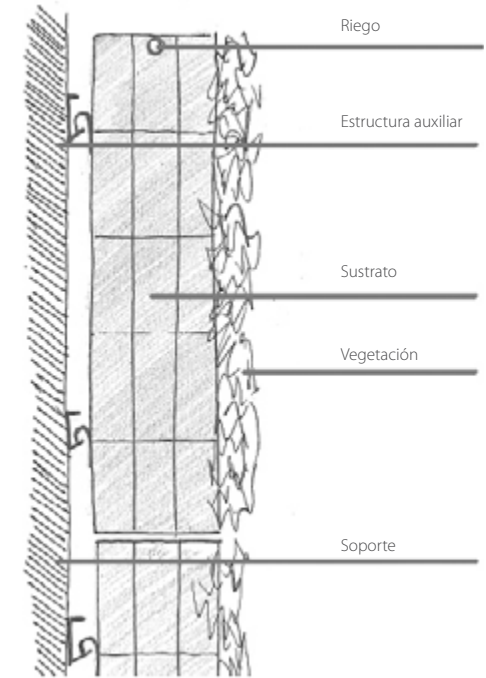


Figura 138. Componentes de la fachada vegetal.

Especies del género Sedum para cubierta inclinada				
Nombre botánico	Nombre popular	Altura (cm)	Color de floración	Mes de floración
<i>Sedum album</i>	Uva cana	5-10	Blanco-rosa	6-8
<i>Sedum floriferum</i>	Sedo	10-15	Amarillo	6-7
<i>Sedum hybridum</i>	Sedo híbrido	10-15	Amarillo	4-8
<i>Sedum sexangulare</i>	Sedo hexagonal	5-10	Amarillo	6-7
<i>Sedum spurium album superburn</i>	Sedo bastardo	10-15	Blanco	7-8
<i>Sedum spurium roseum superburn</i>	Sedo bastardo	10-15	Rosa	7-8
<i>Sedum spurium variegatum</i>	Sedo bastardo	10-15	Rosa	7-8

5.4. Tipología

Las superficies vegetales se pueden clasificar en función de distintos criterios, los más usados son:

- | Según el espesor del sustrato: intensivas y extensivas o ecológicas.
- | Según su uso: ornamental y cultivo hortofrutícola.
- | Según su composición: sin almacenamiento de agua o aljibe.
- | Según morfología: cubierta (plana o inclinada) o fachada vegetal.

No obstante, la clasificación más habitual es la que diferencia entre cubiertas vegetales intensivas y extensivas, estando directamente relacionada con el peso que supondrá para la estructura del edificio. En fachadas vegetales la clasificación es menos clara y depende, en gran medida, de los sistemas patentados.

En la siguiente tabla se muestra una clasificación de las cubiertas vegetales:

La gran variedad de tipologías de cubiertas y fachadas se resume en:

Clasificación de superficie vegetal en la edificación				
Cubierta vegetal			Fachada vegetal	
Cubierta intensiva	Cubierta extensiva o ecológica		Huerto	
	Cubierta plana	Cubierta inclinada		
Aljibe	Monocapa	3-10° 10-25°	Superficial Unitario	Opaca con cultivo hidropónico
Con lámina drenante	Plana sencilla	> 25° Monocapa		Opaca con celdas de polietileno
Elevada sobre plots y aljibe	Plana con pequeño aljibe	Teja		Opaca con malla de polietileno con sustrato
Sin almacenamiento	Plana con gran aljibe			Opaca con jardineras de geotextil
Con vegetación superficial	Plana ligera			Opaca con gaviones
Con vegetación unitaria	Plana con bandejas preplantadas			Opaca con caja metálica
	Plana con aljibe modular			Opaca con celdas drenantes Translúcida con invernadero Translúcida con paneles

Variaciones de la cubierta vegetal		
Intensiva	Aljibe Sin almacenamiento de agua	Vegetación superficial Vegetación superficial Vegetación en elementos unitarios
Extensiva o ecológica	Plana Inclinada	Vegetación superficial Vegetación superficial
Huerto urbano	Vegetación superficial Vegetación en elementos unitarios	

La cubierta intensiva

Es un jardín situado en la parte superior del edificio y se caracteriza por tener un sustrato de profundidad superior a los 20 cm que permite plantar desde especies herbáceas hasta arbustos e incluso árboles, siempre que la capa vegetal se corresponda con las necesida-

des de la plantación. El peso oscila entre 240 y 1.100 kg/m² dependiendo del espesor del sustrato y de las especies plantadas. Precisan los mismos cuidados que un jardín es decir, riego, fertilización y poda periódica, siendo imprescindible incluir una lámina antirraíces adecuada.

Vegetación	Vegetación en cubierta intensiva		
	Arbusto pequeño	Arbusto grande	Árbol
Altura de crecimiento	1 m	3 m	10 m
Espesor del sustrato	22 cm	32 cm	82 cm
Peso	340 kg/m ²	500 kg/m ²	1.100 kg/m ²
Capacidad retención de agua	280 l/m ²	420 l/m ²	1.000 l/m ²

| La cubierta intensiva del tipo aljibe. Su diseño les permite almacenar agua entre la superficie vegetal y el soporte estructural que aporta la disponibilidad de agua para riego mediante las mechas al aljibe, pudiéndose llegar a suprimir la red de riego. Constituyen un elemento de protección pasiva contra

incendios y de amortiguación térmica. La cantidad de agua almacenada puede variar desde una altura de 7 cm en sistema de bandejas de polipropileno hasta 50 cm en sistema con soportes elevado siendo la sobrecarga de este tipo de cubiertas mucho mayor.

	Características de cubierta intensiva de tipo aljibe	
	Reserva de agua en la lámina drenante	Pavimento elevado con plots
Espesor del sustrato	> 20 cm	> 20 cm
Espesor del drenaje	7 cm	10-50 cm
Peso en saturación	Desde 360 kg/m ²	Desde 914 kg/m ²
Volumen de retención de agua	Desde 113 l/m ²	Desde 130 l/m ²



Figura 139. Cubierta intensiva accesible en el Chicago City Hall, EEUU.



Figura 140. Cubierta intensiva inclinada.



Figura 141. Cubierta en Manhattan, EEUU.

Para el control de nivel de agua existen puntos de registro donde se encuentra el rebosadero que evacua a la red el exceso de agua. Es importante mantener siempre una lámina de agua permanente pudiéndose usar para ello el agua de la red de suministro o a la de un sistema de cisterna de retención de agua de lluvia.

| La cubierta intensiva con reserva de agua en lámina drenante. Se compone de una capa de vegetación, un sistema de riego –por goteo, habitualmente–, un sustrato, una lámina geotextil, un sustrato mineral retenedor de

agua, un sistema de drenaje y almacenamiento de agua de hasta 7 cm, una manta retenedora y protectora y una lámina impermeabilizante antirraíces.

Permite realizar todo tipo de ajardinamiento gracias a la alta retención de agua. El agua de lluvia se filtra a través del sustrato y se acumula en los huecos cóncavos del sistema de drenaje. Cuando estos huecos alcanzan su nivel máximo, el agua rebosa y a través de las perforaciones de la parte convexa pasa a la parte inferior donde es absorbida por la manta de fieltro retenedora de agua.

Las plantas toman el agua por capilaridad del sistema de drenaje y almacenamiento. Con un espesor de almacenamiento de 7 cm se consigue retener hasta 115 l/m², siendo el espesor mínimo para la capa de sustrato de 20 cm con lo que el espesor total mínimo del

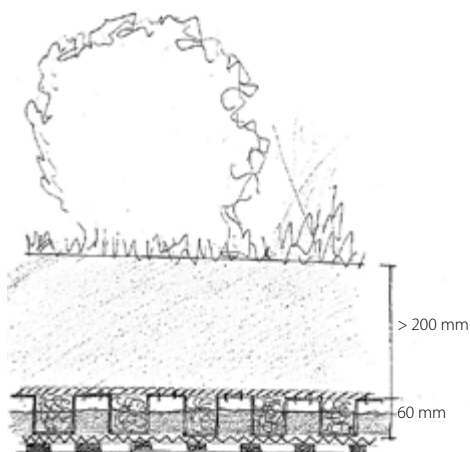


Figura 142. Cubierta intensiva con reserva de agua.

sistema será de 27 cm, aumentando según las especies que se quieran plantar.

Para sistema de aljibe, se recomienda que la pendiente de la cubierta sea nula y se debe disponer de registros y rebosaderos por los que se evacue el exceso de agua.

| La cubierta intensiva elevada sobre plots con aljibe. Dispone de una capa vegetación, un sustrato de espesor superior a 20 cm, una loseta resistente, un fieltro absorbente, unas mechas absorbentes que comunican el agua y el sustrato, los soportes regulables y la lámina impermeabilizante antirraíces.

Permite combinar distintos acabados vegetales y de pavimento. Con la retención de gran cantidad de agua en la parte inferior el riego de las plantas está asegurado por capilaridad a través de mechas. La regulación de los plots permite ajustar la profundidad del aljibe según las necesidades y la posibi-

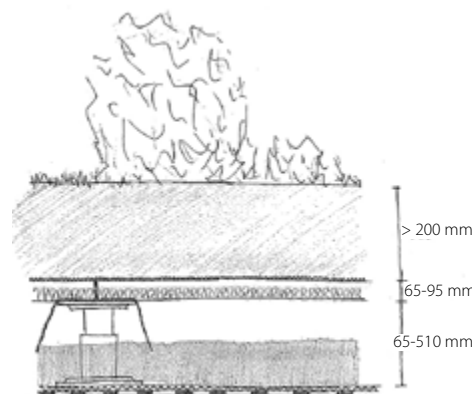


Figura 143. Cubierta intensiva elevada en plots y aljibe.

lidad de sobrecarga de la estructura. Se recomienda colocar sobre los plots una loseta resistente filtrante y aislante que sirve como soporte del sustrato o como propio acabado de cubierta. Esta cubierta es además un depósito de agua para usos auxiliares como incendios y aporta aislamiento y gran inercia térmica. Es, por tanto, la tipología de cubierta vegetal más completa.

| La cubierta intensiva sin almacenamiento de agua. Se compone de vegetación, un sustrato de alta capacidad de absorción, una lámina separadora geotextil y una capa inferior de drenaje conseguida con bandejas de pequeña profundidad de polipropileno de 2 cm o mediante una capa de grava de mayor granulometría. El agua asciende por capilaridad hasta el sustrato y será necesaria la aportación de más agua mediante un sistema de riego por goteo.

| La cubierta intensiva con vegetación superficial. Cubierta con retención de agua leve en su capa inferior. Permite la plantación de muchas variedades de especies, adaptando la cantidad del sustrato a las necesidades de cada una de ellas.

Se conforma con vegetación, riego (por goteo), sustrato (> 20 cm), lámina geotextil, sistema de drenaje y retención de agua (> 4 cm), e impermeabilizante antirraíces. El agua de lluvia queda retenida, ahorrando riego y asegurando un mejor crecimiento de la

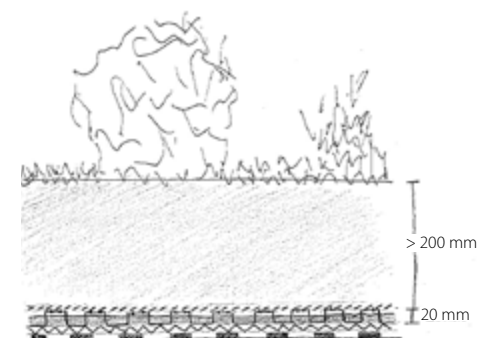


Figura 144. Cubierta intensiva vegetación superficial.

Características de cubierta vegetal intensiva sin almacenamiento de agua		
	Reserva de agua en la lámina drenante	Pavimento elevado con plots
Espesor del sustrato	> 20 cm	> 20 cm
Espesor del drenaje	4 cm	Desde 8 cm
Peso en saturación	Desde 180 kg/m ²	
Volumen de retención de agua	Desde 68 l/m ²	

vegetación. Para el buen funcionamiento de la cubierta se precisa una pendiente mínima del 1%. El agua de lluvia se infiltra a través del sustrato, se filtra en el geotextil y se acumula en los huecos cóncavos del sistema de drenaje o en la manta retenedora. Las plantas toman el agua directamente por capilaridad.

| La cubierta intensiva con vegetación unitaria. En cubiertas existentes y sin posibilidad de implantar sistemas que abarquen la totalidad de su superficie se puede optar por la implantación de maceteros de grandes dimensiones. Para ello se necesita disponer de un soporte estructural que resista la sobrecarga e implantar un sistema de riego por goteo. Dentro de cada macetero se debe colocar un sustrato, una lámina geotextil, una capa de drenaje y un rebosadero.

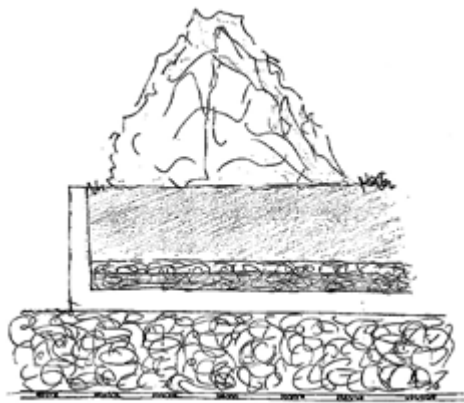


Figura 145. Cubierta intensiva con vegetación unitaria.

La cubierta extensiva

Una cubierta extensiva es un tapiz vegetal que se caracteriza por disponer de un sustrato con un espesor de entre 3 y 20 cm. La vegetación a seleccionar debe ser sencilla, recomendándose especies autóctonas resistentes a climas secos y heladas y que precisen mínima o nula irrigación, fertilización o mantenimiento. Las plantas crasas y los Sedums son las óptimas para este tipo de cubiertas. La cubierta vegetal extensiva no es accesible y su peso varía según la solución constructiva, situándose en torno a 150 kg/m².

Las clases de cubiertas vegetales más extendidas son:

| La cubierta extensiva monocapa. Es un sistema simple compuesto por un sistema de riego, sustrato de 15 cm, diferenciado en capa superior nutritiva para soporte de vegetación y capa inferior de drenaje con material poroso, una lámina geotextil, una capa drenante y una lámina impermeabilizante antirraíces.

El espesor total está en torno a los 15 cm. Para que evitar que se produzca el estancamiento de agua la inclinación de cubierta debe estar entre el 5 y el 15 %. Esta solución

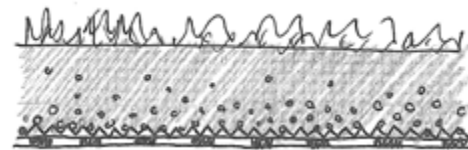


Figura 146. Cubierta extensiva monocapa.

permite drenar alrededor del 28 % del agua de lluvia recibida.

| La cubierta extensiva plana sencilla. Es el sistema más sencillo para la creación de una cubierta vegetal y está formado por un elemento drenante de 2 cm de espesor y una manta retenedora del agua de lluvia. La vegetación que se puede plantar es muy variada y se recomienda combinar las especies adecuadamente para poder conseguir floración durante casi todo el año.

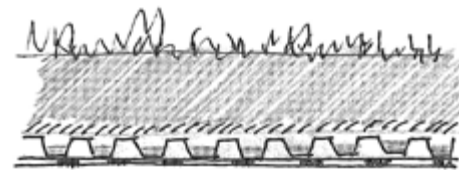


Figura 147. Cubierta extensiva plana sencilla.

El espesor mínimo de sustrato debe ser de 10 cm para Sedum, 13 cm para crasas y 20 cm para especies aromáticas. Entre el sustrato y la capa drenante se coloca una lámina geotextil que evite la pérdida de finos. El riego se produce por capilaridad, se recomiendan los sistemas de riego por goteo y la capacidad drenante ronda los 600 l/(m² × hora). El mantenimiento es mínimo y se reduce a retirar las especies dañadas una vez al año.

| La cubierta extensiva plana con pequeño aljibe. El aljibe se construye mediante bandejas de polipropileno de 7 cm de espesor para almacenar el agua de lluvia, produ-

ciéndose el riego por capilaridad al sustrato. Las bandejas cuentan con perforaciones en su parte superior que actuarán a modo de rebosadero en caso necesario. Este tipo de cubierta permite plantar especies con necesidades hídricas mayores. Sobre la capa drenante se colocará una lámina geotextil que actúa de filtro. Su capacidad drenante es de 1.300 l/(m² × hora).

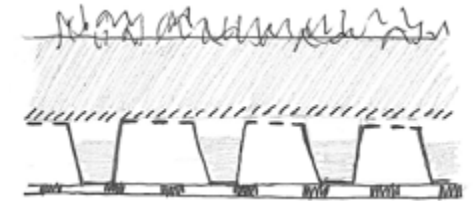


Figura 148. Cubierta extensiva plana pequeño aljibe.

La capacidad de almacenamiento es de 18 l/m² y el mínimo espesor de sustrato es de 6 cm para Sedum, 10 cm para crasas, 15 cm para aromáticas y 20 cm para céspedes. Como principal labor de mantenimiento se debe retirar anualmente las especies dañadas.

| La cubierta extensiva plana con gran aljibe. En este sistema se emplean como soporte cajas de HPE, elementos prefabricados de



Figura 149. Cubierta extensiva plana gran aljibe.

espuma rígida de EPS o plots regulables en altura con objeto de hacer un aljibe con capacidad de hasta 120 l/m². Permite la plantación de cualquier tipo de vegetación con cualquier tipo de sustrato y sin precisar riego. La profundidad del sustrato varía según el tipo de especie.

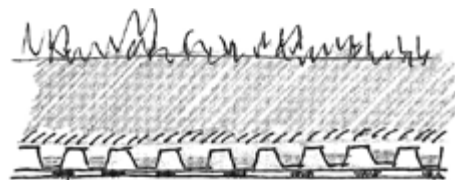


Figura 150. Cubierta extensiva plana ligera.

La cubierta extensiva plana ligera. Está compuesta por paneles de espuma de poliuretano como capa retenedora y de drenante con sustrato de 6 cm para Sedum y de 10 cm para céspedes. La vegetación se coloca en forma de tepes, enraíza en la espuma bajo la que se coloca una lámina impermeabilizante y no precisa sustrato adicional. El espesor y el peso son mínimos: 35 kg/m²

La cubierta debe tener una inclinación de entre el 1 y 5%, asegurando la evacuación de aguas. La capacidad de almacenamiento es de 31 l/m² y la capacidad de flujo en plano es de 600 l/(m² × hora). Como mantenimiento precisa retirar las especies en mal estado una vez al año y es recomendable su riego.

La cubierta extensiva plana con bandejas preplantadas. Son elementos prefabricados con vegetación que simplifican la construcción, el tiempo de ejecución y el resultado final. Están especialmente indicadas en cubiertas planas con afección por viento. Si la cubierta tiene una pendiente inferior al 2 % debe contar con una capa drenante.

Se comercializan bandejas de dimensiones 50 × 50 cm unidas por clips de 9 cm de espesor y su peso húmedo ronda los 50 kg/m². Su mantenimiento es anual.



Figura 151. Cubierta extensiva con bandejas prevegetadas.

La cubierta extensiva plana con aljibe modular vegetado. Es un elemento modular prefabricado de hormigón poroso que actúa como soporte. Incluye una mecha que por capilaridad transmite agua y nutrientes al sustrato discontinuo.

Cada módulo pesa 46,9 kg y representa una sobrecarga de 224 kg/m². Este sistema es una propuesta del Grupo ABIO de la Universidad Politécnica de Madrid.

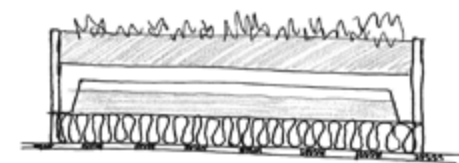


Figura 152. Cubierta extensiva plana con aljibe modular vegetado.

Resumen de sistemas para cubiertas extensivas

Vegetación	Sistema monocapa	Sistema sencillo	Sistema con aljibe pequeño	Sistema de aljibe grande	Sistema ligero	Bandejas preplantadas	Aljibe modular vegetado
Espesor del sustrato	Sustrato como drenaje ≤ 15 cm	10 cm de Sedum 13 cm de crasas 20 cm de aromáticas	6 cm de Sedum 10 cm de crasas 15 cm de aromáticas 20 cm de césped	6 cm de Sedum 10 cm de crasas 15 cm de aromáticas 20 cm de césped	Espuma de poliuretano como capa drenante y sustrato de 6 cm de Sedum 10 cm de césped	9 cm de bandeja con Sedum y crasas	9 cm
Espesor del drenaje/aljibe	—	2 cm	9 cm	15 cm	—	—	9 cm
Peso en saturación	100 kg/m ²	≥ 150 kg/m ²	≥ 120 kg/m ²	≥ 230 kg/m ²	≥ 35 kg/m ²	50 kg/m ²	224 kg/m ²
Retención de agua	29 l/m ²	≥ 3 l/m ²	≥ 18 l/m ²	≥ 120 l/m ²	≥ 31 l/m ²	15 l/m ²	—
Capacidad drenante	28 %	600 l/(m ² × h)	1.300 l/(m ² × h)	—	600 l/(m ² × h)	600 l/(m ² × h)	—
Pendiente	5-15 % (2-10°)	1-5 % Hasta 3°	0-15 % Hasta 9°	0 %	1-5 % Hasta 3°	0-10 0° Hasta 45°	1-5 % Hasta 3°
Precio orientativo (€/m ²)	46 €/m ²	85 €/m ²	90 €/m ²	100 €/m ²	90 €/m ²	80 €/m ²	—

La cubierta vegetal inclinada

Son cubiertas con una pendiente de entre 3 y 20° cuya construcción es más fácil y económica puesto que se pueden construir con una sola capa sin necesidad de incluir el drenaje inferior. El sustrato tiene la capacidad de almacenar el agua y drenar la parte sobrante hasta el límite de la cubierta libre o al canalón.

Para la cubierta vegetal inclinada se deben tomar medidas especiales relacionadas con las fuerzas de empuje debidas a la inclinación.

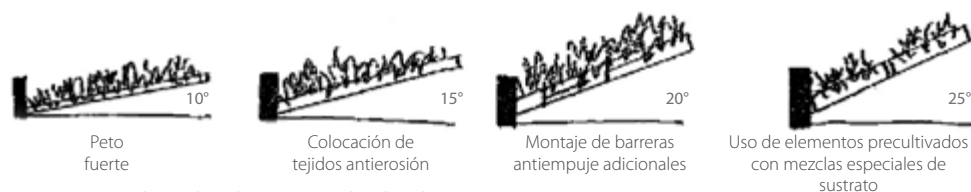


Figura 153. Tipología de cubierta vegetal inclinada.

Si fuera necesario el riego se recomienda hacerlo por goteo desde cumbre y en caso de pendiente fuerte se deben colocar protecciones contra el deslizamiento. La instalación de paneles solares en cubierta es compatible con el crecimiento de la vegetación.

| Cubierta extensiva inclinada de 10 a 25° con capa drenante. Está compuesta por una lámina impermeabilizante antirraíces, una manta absorbente, una capa drenante de espuma dotada con concavidades para la re-

tención de agua, perforaciones y un sistema de canaletas en su parte inferior. El sustrato se coloca con un mínimo de 5 cm por encima de los alveolos del drenaje y se deben incluir petos o barreras antiempuje.

En cubiertas con inclinación superior a 15° o con exposición a fuertes vientos se recomienda colocar un tejido de protección antierosivo de yute o coco. La vegetación será especialmente seleccionada para cubiertas inclinadas con cepellón poco profundo. El peso saturado varía entre 115 y 145 kg/m².

| La cubierta extensiva con inclinación superior a 25° y sistema antideslizamiento. Este tipo de cubierta debe incorporar un sistema adicional que asegure su estabilidad evitando el deslizamiento del sustrato. También incluye una lámina impermeabilizante

antirraíces y una manta hidroabsorbente. El sistema antideslizamiento está formado por elementos prefabricados en polietileno (PE) conectados entre sí y dotados con un nervio central reforzado que absorbe las fuerzas de empuje producidas por la inclinación.

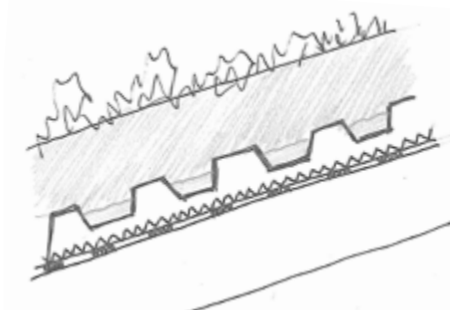


Figura 154. Cubierta inclinada 10-25° con capa drenante.

Vegetación Sedum	Características de cubiertas vegetales inclinadas						
	Pendiente < 25°			Pendiente > 25°	Sistema monocapa	Cubierta de teja	Bandejas prevegetadas
Pendiente	15-30 % 10-15°	30-40 % 15-20°	40-50 % 20-25°	> 50 % > 25°	5-36 %	0-100 % Hasta 45°	Cualquiera
Altura de crecimiento	≤ 15 cm	≤ 15 cm	≤ 15 cm	≤ 15 cm	≤ 15 cm	≤ 15 cm	≤ 10 cm
Espesor del sustrato	5 cm	6 cm	7 cm	12 cm	14-18 cm	10 cm	Bandeja: 3-4 cm
Espesor del drenaje y derivación de empuje	8 cm	8 cm	8 cm	capa portante de vegetación y elemento modular	drenaje y sustrato mezclados	10 cm	Total ≥ 25 cm
Peso en saturación	115 kg/m ²	130 kg/m ²	145 kg/m ²	155 kg/m ²	< 160 kg/m ²	100 kg/m ²	320 kg/m ²
Volumen de retención de agua	32 l/m ²	36 l/m ²	40 l/m ²	64 l/m ²	70 l/m ²	—	—
Precio	150 €/m ²	150 €/m ²	150 €/m ²	200 €/m ²	77 €/m ²	—	130 €/m ²

El sustrato cubre al menos 1 cm el sistema, siendo su capa inferior la encargada de ayudar a la desviación de las fuerzas de empuje y su capa superior la que sirve para el desarrollo de la vegetación. La sobrecarga provocada por este tipo de cubierta se sitúa en torno a 155 kg/m².

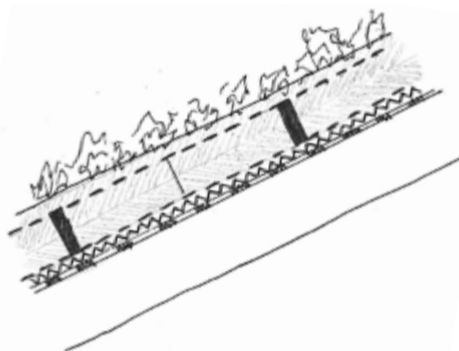


Figura 155. Cubierta inclinada > 25° con sistema anti-deslizamiento.

| La cubierta extensiva inclinada monocapa.

Es un sistema sencillo, altamente efectivo y de bajo coste que está indicado para techos con una inclinación de entre el 5 y 36 %. El sustrato acoge la vegetación y almacena y drena el agua sobrante. Se recomienda que parte del material utilizado para formar el sustrato sea poroso (piedra pómez, escoria, arcilla expandida) para reducir el peso, aumentar el aislamiento térmico, facilitar la respiración de las raíces y paliar la lluvia ácida. El espesor total del sustrato puede variar entre 14-18 cm. La vegetación será de pastos y Sedum.

| La cubierta inclinada de teja. Son rollos de fibra vegetal compactada que integran un sistema de riego por exudación con gran capacidad drenante y colocados en la cubierta de teja existente. Se sujetan mediante diferentes procedimientos dependiendo de la inclinación de la cubierta y de la exposición al viento. La vegetación empleada es de tipo Sedum y crasas con el objetivo de que el mantenimiento sea mínimo. El peso adicional a la estructura es de 50 kg/m².

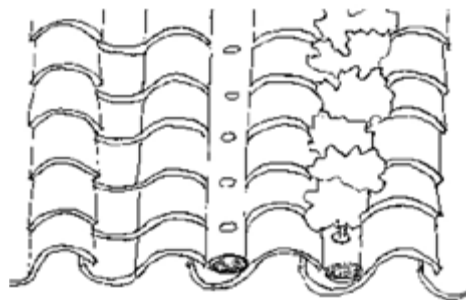


Figura 156. Cubierta inclinada de teja.

| La cubierta extensiva inclinada con bandejas prevegetadas. Está formada por módulos de soporte de polietileno de baja densidad (LDPE) con vegetación incorporada en su cara superior unidos mediante engranajes altamente resistentes. La vegetación preculтивada puede ser de diferentes especies de Sedum o césped y el incremento de peso saturado es de 40 kg/m².

El huerto urbano en cubierta

El redescubrimiento de las cubiertas como posible lugar urbano de ocio y aprovechamiento ha provocado la aparición de los huertos urbanos. En la actualidad existen dos corrientes de este tipo de huertos: la ocupación total de la cubierta o la colocación de elementos unitarios donde se cultivan los alimentos.

| El huerto superficial en cubierta plana.

Se emplea para cultivar vegetales y su espesor varía de 40 a 60 cm. Debe tener un sustrato rico en nutrientes y es necesario contar con un sistema de riego regulado y programado acorde a las necesidades y oxigenar el sustrato removiéndolo varias veces al año.



Figura 157. Cubierta de Brooklyn Grange en Nueva York, EEUU.

	Características del huerto urbano en cubierta	
	Huerto superficial	Huerto en elementos unitarios
Espesor del sustrato	40-60 cm	> 20 cm
Espesor del drenaje	2,5 cm	10-50 cm
Peso en saturación	Desde 380 kg/m ²	Desde 100 kg/m ²
Volumen de retención de agua	3-5 l/m ²	Sin datos
Precio orientativo	67 €/m ²	120 €/m ²

El agua de riego se acumulará en la capa drenante y posteriormente subirá por capilaridad a la vegetación evitando que se encharque el sustrato en su parte inferior. Las especies que se pueden cultivar en 40 cm de sustrato son muy variadas; zanahorias, patatas, cebollas, judías, tomates, lechugas, pimientos, fresas, así como plantas aromáticas y cualquier otra especie de porte medio.

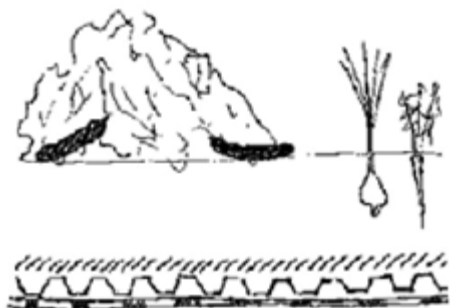


Figura 158. Huerto en superficie.

| El huerto de elementos unitarios en cubierta plana. En cubiertas existentes con acabado transitable es factible la incorporación de elementos para la creación de huertos urbanos sin necesidad de ocupar totalmente la superficie de cubierta. En las “unidades de cultivo”, la profundidad del sustrato dependerá de las especies seleccionadas, siendo suficiente un espesor de entre 15 y 30 cm para poder cultivar gran variedad de plantas. Lo importante es la oxigenación de la planta que se consigue a través del perímetro y de un riego adecuado.

El sustrato empleado debe ser rico en nutrientes y está compuesto por una mezcla de tierra y otras sustancias orgánicas en proceso de fermentación. También es importante contar con una superficie de drenaje en la parte inferior de la unidad de modo que se evite el encharcamiento.

Existen sistemas comerciales realizados en material geotextil transpirable, cien por cien reciclable y con 40 cm de profundidad. Estas soluciones son ligeras y permiten la oxigenación de la planta.

Se han realizado experimentos con huertos urbanos donde se emplean materiales reciclados en cubierta como contenedores que han conseguido buenos resultados –neumáticos: la concavidad inferior como reserva de agua–. Otra opción es reducir al máximo el espesor del sustrato asegurando el riego y una buena oxigenación, pudiéndose cultivar zanahorias, tomates, judías, maíz, guisantes, etc. Para ello es importante incluir en el fondo algún material



Figura 159. Elementos unitarios en una cubierta plana.



Figura 160. Elementos singulares en una cubierta plana.



Figura 161. Elementos singulares en una cubierta plana.



Figura 162. Huerto con sustrato de 7 cm de espesor.

reciclado que sirva como drenaje (virutas de madera, áridos...) ya que si el sustrato tiene los suficientes nutrientes, las raíces no precisan profundizar para encontrarlos.

La fachada vegetal

La Unión Europea recomienda disponer de 20 m² de vegetación por habitante y para alcanzar este objetivo se puede incrementar la vegetación urbana utilizando las fachadas de los edificios existentes, consiguiendo además el aislamiento, la protección frente a la lluvia y el viento, la amortiguación del ruido, la protección solar y la mejora ambiental.

Para su diseño se debe considerar el peso y la sujeción de la superficie vegetal a la fachada. En este caso la sobrecarga puede llegar a los 50 kg/m² y la presencia de rocío, lluvia o nieve podría duplicarse en una planta caduca y triplicarse en una perenne. Para dimensionar las sujeciones y la estructura soporte se deben considerar la fuerza del viento y el crecimiento de las plantas.

En su diseño es recomendable dejar espacio entre el soporte de las planta y el muro existente, permitiendo la circulación de aire. Como tipologías principales encontramos:

| La fachada vegetal opaca con cultivo hidropónico. Es un sistema rápido y sencillo, con poco mantenimiento que consiste en un adosado a la fachada existente mediante paneles aminoplásticos sujetos a una perfi-

lería vertical. Sobre estos paneles se coloca una doble lámina de fieltro donde se fijan las raíces. Por ella circula una solución de riego hidropónica, por lo que no precisa sustrato, y la densidad de la vegetación será como mínimo de 30 ud/m².

Los requisitos previos del lugar donde se va a implantar son: disponer de una toma de agua donde instalar el sistema de fertirrigación, instalar una conducción de agua de PE hasta el pie del sistema de riego, disponer de un lugar protegido para la instalación de aparatos de control, realizar una canalización de lixiviados de la parte inferior e incorporar



Figura 163. Cubierta vegetal del Caixa Forum, Madrid.

depósitos de fibra para almacenaje de las soluciones nutritivas.

El sistema de riego es un circuito cerrado con control automatizado que produce por la parte superior de la fachada y recoge los lixiviados en una canaleta inferior hasta un depósito. El mantenimiento será de poda de vegetación cada 24 meses, revisión periódica del control de fertirrigación y rellenar los depósitos de fertilizante. El espesor total del sistema ronda los 20 cm y su peso saturado los 35 kg/m².



Figura 164. Fachada vegetal de cultivo hidropónico.

| La fachada vegetal opaca de celdas de polietileno. Son módulos prefabricados de PE precultivados y de dimensiones 60 × 30 × 10 cm con un peso por módulo de 15 kg y un peso saturado de 85 kg/m². Cada módulo cuenta con un depósito aljibe para la optimización del suministro de agua a las plantas.

El riego se realiza por la parte superior de la fachada mediante un circuito de fertirrigación

cerrado. Para la sujeción a fachada se emplean perfiles metálicos fijados mecánicamente y la vegetación seleccionada será la adecuada al microclima de cada una de las fachadas.

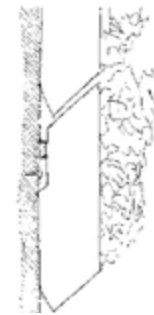


Figura 165. Fachada vegetal con celdas de polietileno.

| La fachada vegetal opaca de malla de polietileno con sustrato. Permite la depuración de aguas residuales domésticas por biofiltración permitiendo así su reutilización posterior en inodoros o riego de plantas. La reutilización

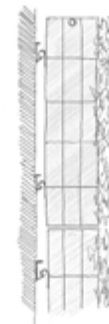


Figura 166. Fachada vegetal de malla de polietileno con sustrato.

del agua obtenida se encuentra dentro del marco legal aplicable para el riego de plantas (RD 1620/2007).

El sistema se compone de celdas metálicas que contienen sustrato rodeado por una lámina geotextil donde se desarrolla la vegetación. Se sujetan a la fachada mediante rieles de anclaje y el riego se realiza por la parte superior del panel. Las plantas empleadas son nitrófilas (macrófitas) y el grosor del sistema es de 14 cm y su peso saturado de 70 kg/m².

| La fachada vegetal opaca de jardineras de geotextil. Son jardineras de geotextil para la creación de paredes verticales fijadas a la pared mediante tirafondos y dotadas de sistema de riego en su parte superior. El frente

es traspirable y permite evaporar el exceso de humedad evitando la colocación de drenajes.

La barrera antihumedad que tiene el tejido de la jardinera evita que el agua pueda traspasar la jardinera y ayuda a retener el agua en su interior, humedeciendo raíces y manteniendo los nutrientes del sustrato.

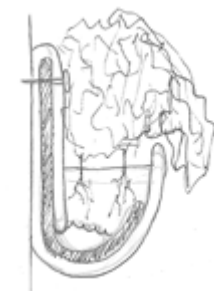


Figura 167. Jardinera de geotextil.

| **La fachada vegetal opaca de gaviones.** Está formada por módulos de 55 × 55 cm de malla metálica de acero inoxidable electrosoldados rellenos con piedra volcánica tras la que se sitúa una celda drenante de polipropileno con sustrato. Este tipo de fachada incluye aislamiento y una estructura auxiliar. El aislante debe ser imputrescible y la estructura auxiliar se puede colocar sobre la fachada existente, creando una cámara de aire y mejorando las condiciones climáticas del edificio –el diseño de este tipo de fachada corresponde al Grupo Abio de la UPM–.

La vegetación empleada será de tipo rupícola con diferentes periodos y colores de floración. Su desarrollo será pequeño con alta capacidad tapizante y escasas necesidades de riego.

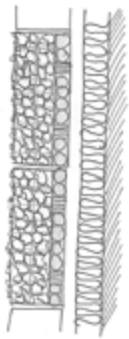


Figura 168. Gaviones.

| **La fachada vegetal opaca de caja metálica.** Formada por paneles vegetales desmontables modulares de 60 × 60 cm, en cajas metálicas resistentes a la humedad y con base de poliestireno extruido –el diseño de este tipo de fachada corresponde al Grupo Abio de la UPM–. Disponen de sustrato envuelto en una lámina geotextil, con nutrientes y elementos que propician el crecimiento de la vegetación. Los módulos se anclan a la pared existente mediante una subestructura que incluye una cámara de aire. Las especies plantadas seleccionadas serán autóctonas y el sistema de riego recomendado es por goteo mediante tuberías ubicadas en la parte superior de cada uno de los paneles vegetales.

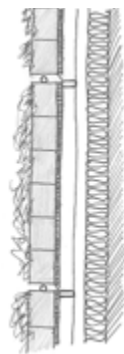


Figura 169. Fachada vegetal modular.

| **La fachada vegetal opaca de celdas drenantes.** Se trata de celdas prefabricadas de polipropileno rellenas de sustrato y envueltas en fieltro de lana con pequeños cortes donde se introducen las especies vegetales –el diseño de este tipo de fachada corresponde al Grupo Abio de la UPM–.

Dispone de sistema de riego cerrado por goteo en cada uno de los paneles. En la parte inferior de la fachada se coloca un canalón de chapa que recoge los excedentes de riego y recircula el agua sobrante.



Figura 170. Celdas drenantes.

| **La fachada vegetal traslúcida de paneles deslizantes.** Es una protección exterior móvil con vegetación trepadora caduca que permite reducir ganancias de calor. La vegetación crece desde una jardinera inferior incorporada en el panel compuesta por una chapa plegada de aluminio anodizado, un canalón-aljibe en su parte inferior, unas mechas hacia el sustrato interior de las placas rígidas de polipropileno celulares y una lámina geotextil. Desde la jardinera se colocan tensores helicoidales para soporte de las plantas trepadoras.



Figura 171. Paneles deslizantes.

5.5. Recomendaciones de diseño

Para una cubierta de 100 metros cuadrados la cantidad de agua aprovechable se calcula conforme a la precipitación media anual \times la superficie de la cubierta \times el factor aprovechamiento:

Zona A. $949,72 \times 100 \text{ m}^2 \times 0,5 = 47.486 \text{ l/año}$.
Dimensiones del depósito: $47.486 \text{ l/año} \times 30/365 = 3.900 \text{ l}$ (aljibe de 3,9 cm de altura en una cubierta de 100 m^2).

Zona B. $449,58 \times 100 \text{ m}^2 \times 0,5 = 22.479 \text{ l/año}$.
Dimensiones del depósito: $22.479 \text{ l/año} \times 45/365 = 2.771,38 \text{ l}$ (aljibe de 2,8 cm en una cubierta de 100 m^2).

Zona C. $395,05 \times 100 \text{ m}^2 \times 0,5 = 19.752,5 \text{ l/año}$.
Dimensiones del depósito: $19.752,5 \text{ l/año} \times 60/365 = 3.246,9 \text{ l}$ (aljibe de 3,2 cm en una cubierta de 100 m^2).

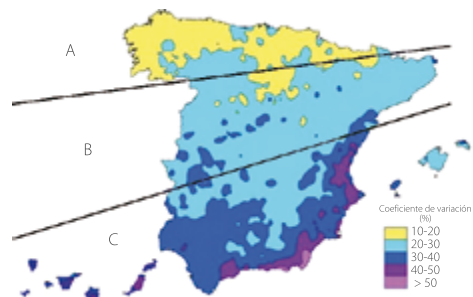


Figura 172. División geográfica según la variación de la precipitación.

		Resumen de recomendaciones de diseño					
		Zona A		Zona B		Zona C	
Condiciones		Precipitaciones frecuentes y de intensidad		Precipitaciones esporádicas con intensidad media		Precipitaciones esporádicas con gran intensidad	
		Suelo permeable	Suelo impermeable	Suelo permeable	Suelo impermeable	Suelo permeable	Suelo impermeable
Objetivos							
		Infiltración colada al agua del terreno. Almacenamiento recomendable.		Almacenamiento recomendable para reutilización. Infiltración controlada al terreno de excesos.		Acumulación máxima para reutilización. Ralentización e infiltración al terreno de excesos.	
Volumen almacenado		3.900 litros = aljibe de 3,9 cm en una cubierta de 100 m^2		2.771 litros = aljibe de 2,8 cm en una cubierta de 100 m^2		3.246 litros = aljibe de 3,2 cm en una cubierta de 100 m^2	
Estrategia							
		Aumento de la capacidad de absorción del terreno para la infiltración	Evacuación subsuperficial a zona permeable o a zona de acumulación	Acumulación perimetral o puntual (riego, limpieza o baldeo)	Acumulación perimetral o puntual (riego, limpieza o baldeo)	Acumulación (riego, limpieza o baldeo) Infiltración a terreno	Evacuación subsuperficial a depósitos de acumulación (riego, limpieza o baldeo)

A continuación exponemos las recomendaciones según la zona climatológica.

Criterios en Zona A

| La cubierta plana. La cubierta plana más adecuada es la cubierta vegetal extensiva con pequeño aljibe (inferior a 4 cm) conectada a depósito de infiltración de agua al terreno. Se consigue almacenar agua y permite el desarrollo de la vegetación pudiendo además emplearse en otros usos como protección contra incendios o baldeo.

En caso de periodos muy secos el aljibe debería recargarse con agua de la red y es recomendable incluir una instalación de riego por goteo.

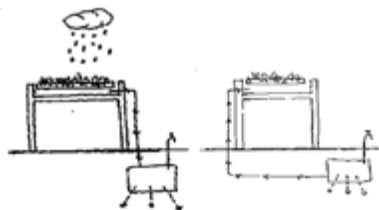


Figura 173. Cubierta plana en Zona A.

| La cubierta inclinada. El sistema idóneo es la cubierta vegetal extensiva monocapa con capa drenante puesto que tiene capacidad de almacenamiento de agua suficiente para el crecimiento de la vegetación con lluvias frecuentes. La cantidad máxima de alma-

cenamiento en sus capas de sustrato es de 15 l/m². En caso de lluvias abundantes el exceso se empleará para otros usos dentro del mismo edificio como el riego, la limpieza o los inodoros. Se recomienda instalar un sistema de riego por goteo para episodios esporádicos de sequía. Para la infiltración al terreno se recomienda combinar la cubierta vegetal con un sistema de almacenamiento e infiltración.

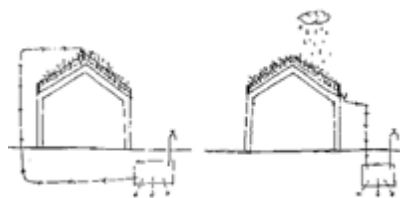


Figura 174. Cubierta inclinada en Zona A.

| La fachada vegetal. El sistema adecuado es el de jardineras de geotextil. En este caso la captación de agua de lluvia es menor que en cubiertas vegetales, por lo que no se almacena agua para otros usos que no sean las propias necesidades hídricas de la vegetación. Con un régimen de lluvias elevado el material de las jardineras puede conservar la humedad evitándose el riego de la fachada vegetal.

Si la cantidad de agua captada es excesiva el material traspirable permitirá que se eva-

pore el agua sobrante. También se recomienda instalar un riego por goteo para afrontar episodios esporádicos de sequía.

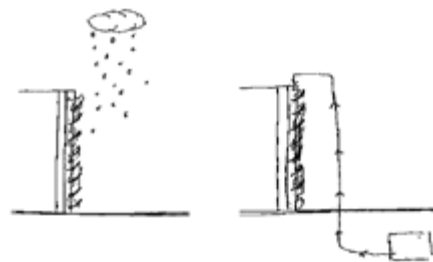


Figura 175. Fachada vegetal en Zona A.

Criterios en Zona B

| La cubierta plana. La cubierta más indicada es la cubierta vegetal extensiva con aljibe, donde se consigue captación y almacenamiento del agua de lluvia. Es aconsejable almacenar agua para épocas secas en aljibe de más de 15 cm de espesor siempre que la estructura lo permita. En caso de épocas

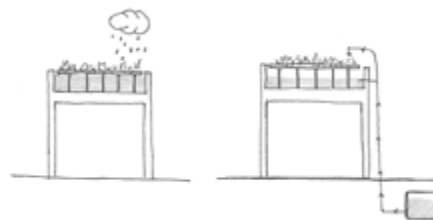


Figura 176. Cubierta plana vegetal en Zona B.

de sequía el aljibe puede ser recargado con agua de la red para mantener la vegetación.

En caso de lluvias muy abundantes es posible utilizar el agua para otros usos como el baldeo, el riego, los inodoros y la protección contra incendios.

| La cubierta inclinada. El sistema más adecuado es la cubierta vegetal extensiva con lámina de drenaje y pendiente inferior a 25° que permite almacenar una cantidad de agua de lluvia considerable –entre 32 y 60 l/m²–, reducir el riego en cubierta y alcanzar buenas condiciones para el crecimiento de la vegetación. Para zonas con intensidad media de lluvias se aconseja la instalación de un elemento de almacenaje independiente fuera de la cubierta –enterrado o a cota de terreno–.

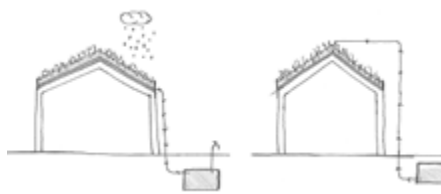


Figura 177. Cubierta inclinada vegetal en Zona B.

| La fachada vegetal. En este caso interesa disponer de un sistema con bajas exigencias hídricas y bajo mantenimiento y se recomiendan dos sistemas para esta situación: la fachada vegetal mediante celdas drenantes prefabricadas y la fachada vegetal mediante gaviones.

En época de lluvias no sería necesario el riego adicional ya que las necesidades hídricas de las especies rupícolas son reducidas. El excedente de agua se derivará a un depósito externo para utilizarla en otras épocas o usos.

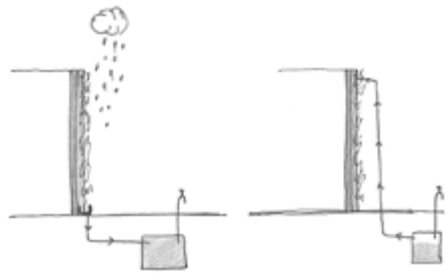


Figura 178. Fachada vegetal en Zona B.

Criterios en Zona C

| La cubierta plana. El sistema recomendado es la cubierta vegetal extensiva con pequeño aljibe. En esta zona climática las lluvias son escasas y cuando se producen son torrenciales, por lo que interesa disponer de un sistema que permita el almacenamiento de agua con capacidad para un periodo de reserva de 60 días.

Un gran aljibe no sería eficiente puesto que en épocas de sequía prolongadas el agua se evaporaría, por lo que se recomienda optar por un sistema que permite un almacenamiento de agua –hasta 25 l/m²– y añadir un depósito para almacenar los excedentes.

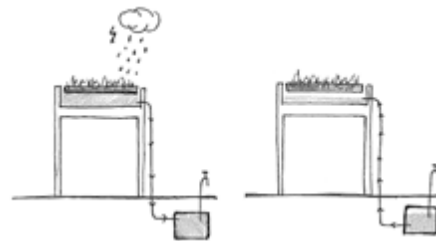


Figura 179. Cubierta plana vegetal en Zona C.

| La cubierta inclinada. Resultan idóneos los elementos precultivados para cubierta vegetal extensiva inclinada puesto que conviene disponer de una cubierta que almacene una leve cantidad de agua, ralentice la escorrentía y que a su vez permita una fácil evacuación de las lluvias torrenciales.

Se aconseja combinar este sistema de cubierta con un depósito enterrado que permita el almacenamiento del agua de lluvia para riego de la cubierta, ya que almacenar agua en cubierta no sería adecuado puesto que los periodos de lluvia coinciden con épocas de altas temperaturas y el agua se evaporaría fácilmente.

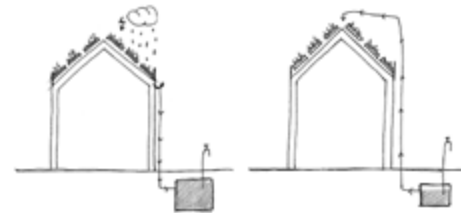


Figura 180. Cubierta inclinada vegetal en Zona C.

| La fachada vegetal. El sistema de celdas de polietileno para fachada vegetal es el más adecuado en estas condiciones. Está compuesto por celdas de polietileno con un pequeño aljibe en la parte inferior que permite que el agua de lluvia quede almacenada.

No obstante, es recomendable instalar un sistema de riego para épocas de sequía con circuito de recirculación de agua y nutrientes desde un depósito que almacene el agua recogida en la canaleta inferior.

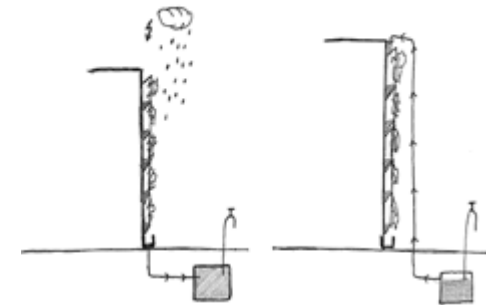


Figura 181. Fachada vegetal en Zona C.

5.6. Ejemplo representativo

El ejemplo que nos ocupa dispone de 1.992 m² de cubierta vegetal en el Complejo Balear de Investigación, Desarrollo e Innovación, un edificio de 10.142 m² diseñado por Tragsatec en el año 2010 y actualmente en ejecución (2015) que se encuentra en el Parc d'Innovació Tecnològica (Parc Bit), término municipal de Palma de Mallorca.

La solución constructiva propuesta consiste en una cubierta invertida ecológica formada por:

- | Una capa de arcilla expandida en seco con un espesor medio de 10 cm en formación de pendiente.
- | Una capa de 2 cm de mortero de cemento y arena de río 1/6 fratasado.

- | Una lámina separadora geotextil.
- | Una membrana impermeabilizante de caucho resistente a las raíces de 1,14 mm de espesor.
- | Uniones mediante proceso de junta rápida o junta de adhesivo de reticulación.
- | Un aislante térmico de poliestireno extruido de 5 cm de espesor.
- | Una placa drenante y de retención de agua.
- | Un sustrato compuesto, en iguales proporciones, por tierra vegetal procedente de la excavación y sustrato de elevada porosidad estable no inflamable y alta capacidad drenante procedente de producto reciclado.
- | Plantas tapizantes tipo Sedum con una densidad de 15 unidades por metro cuadrado.



Figura 182. Proceso constructivo de la cubierta vegetal del edificio Parc Bit, Palma de Mallorca.

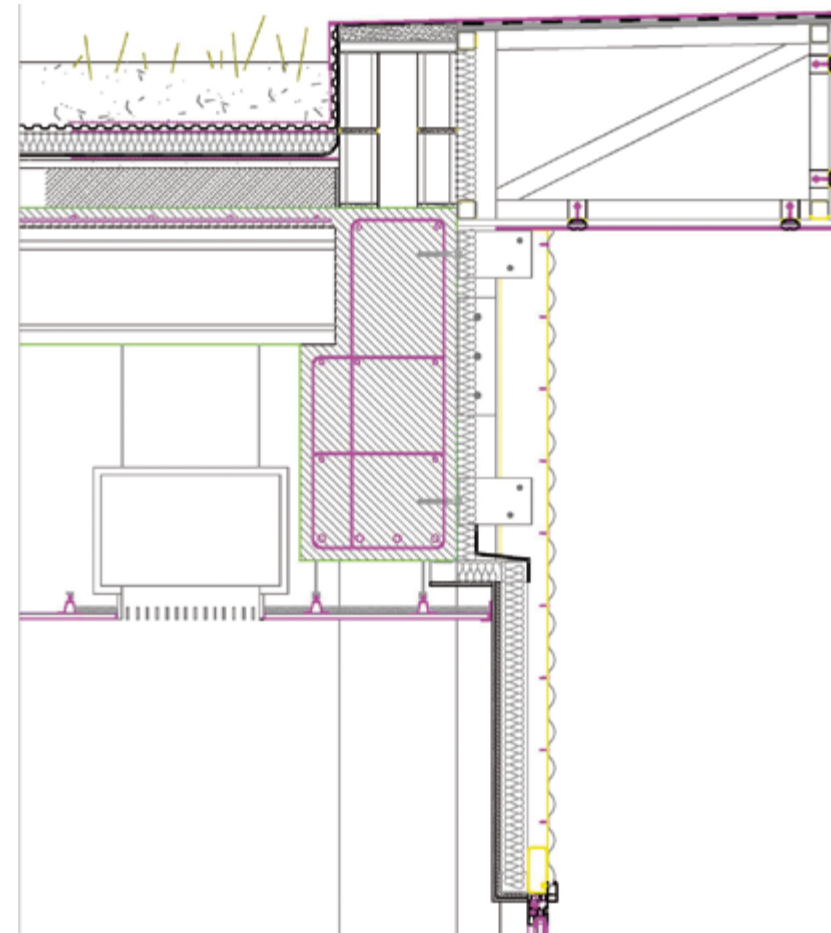




Figura 183. Detalle constructivo del edificio Parc Bit.

5.7. Ficha comparativa

Edificio de oficinas con 5.000 m² de superficie con una cubierta plana de 1.000 m² situado en

Zona climática B con una precipitación anual de 450 mm.

	Características de la instalación	Coste de la instalación	Gestión y aprovechamiento del agua	Impacto ambiental
<p>INSTALACIÓN ESTÁNDAR</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cubierta plana tradicional de 20 cm de grava con 5 cm de poliestireno extruido, un fieltro geotextil y lámina impermeable de caucho EPDM. - Riego no necesario. 	<p>Coste total de obra: 35.000 € (35 €/m², excluido soporte y formación pendiente)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Sin aprovechamiento del agua de lluvia. - Vertido sobre cubierta: 360.000 l/año - Gasto indirecto en depuración: 266 €/año* - Consumo estándar energético por climatización y calefacción (5.000 m² × 200 kWh/(m² × año) × 0,18926 €/kWh): 189.260 €/año €*** 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevada necesidad de mantenimiento y reposición de los elementos de la cubierta debido a las variaciones de la temperatura. - Vertido directo a la red de saneamiento. - Impacto ambiental por el efecto "isla de calor". - Mayor consumo energético.
<p>CON APROVECHAMIENTO DE AGUA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Cubierta vegetal extensiva con especies tipo Sedum, un sustrato de 10 cm, un fieltro geotextil, una lámina drenante retenedora, una capa de 5 cm poliestireno extruido, un fieltro geotextil y una lámina impermeable de caucho EPDM. - Riego estimado para vegetación con baja necesidad hídrica de 2 l/(m² × semana): 106.000 l/año. 	<p>Coste total de obra: 5.000 € (55 €/m² excluido el soporte y la formación de pendiente).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Gasto en riego: 130 €/año. - Ahorro anual por gasto indirecto en no depuración: 100 €/año*. - Ahorro anual estimado en climatización por la mejora del aislamiento con la cubierta vegetal (7 %): 13.200 €/año €** - Retorno del sobrecoste de la inversión: 1,8 años. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de mantenimiento de cubierta por menores oscilaciones de temperatura en materiales. - Retención de la escorrentía, absorción y depuración del agua retenida. - Mejora ambiental por evapotranspiración.

* Importe saneamiento y abastecimiento conforme a las tarifas del agua (AEAS). ** Importe conforme al grupo de trabajo de A3e. *** Según Europe's Energy portal.

5.8. Resumen

Clasificación de cubiertas y fachadas vegetales									
			Peso saturado (kg/m ²)	Rehabilitado	Obra nueva	€/m ²	Retención de agua (l/m ²)	Zona climática	
Cubierta vegetal	Intensiva	Tipo aljibe	Con reserva de agua en lámina drenante	360			180	113	A, B
			Elevada sobre plots con aljibe	914			120	130	A, B
		Sin almacenamiento de agua	Vegetación superficial	180			150	68	A
	Vegetación en elementos unitarios		390			109	—	A	
	Extensiva	Cubierta plana	Sistema monocapa	100			48	29	A, B
			Sistema sencillo	150			85	31	A, B
			Sistema pequeño aljibe	120			90	18	A, B, C
			Sistema aljibe	230			100	120	A, B
			Sistema ultraligero	35			90	31	A, B
			Sistema de bandejas preplantadas	50			80	15	A, B, C
Sistema cubierta aljibe de elementos			224					A, B	
Cubierta inclinada		Sistema para pendiente de 10 a 25°	115-145			150	32-40	A, B, C	
		Sistema para pendiente > 25°	155			200	64	A, B	
		Sistema monocapa	< 160			77	72	A, B	
Huerto urbano	Sistema de cubiertas inclinada de teja	100			Elevado	—	A, B		
	Sistema de bandejas prevegetadas	40			130	—	B, C		
Fachada vegetal	Huerto urbano	Huertos superficiales	380			67	3-5	A, B, C	
		Huertos en elementos unitarios	100			120	—	A, B, C	
	Sistema opaco	Sistema de cultivo hidropónico	35			300	—	A, B	
		Sistema de celdas de polietileno	85			350	—	A, B	
		Sistema de malla de polietileno con sustrato	70			400	—	A	
		Sistema de jardineras de geotextil	55			230	Baja	A, B	
		Sistema de gaviones con celda drenante	—			—	—	B, C	
		Sistema de caja metálica con sustrato	—			—	—	B, C	
		Sistema de celdas drenantes	—			—	—	B, C	
	Sistema traslúcido	Sistema tipo invernadero	—			—	—		
Sistema de paneles deslizantes		—			—	—			