

# Techos verdes

Planificación, ejecución, consejos prácticos



**Gernot Minke**

Gernot Minke, arquitecto y catedrático de la Universidad de Kassel. actualmente dirige el Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales Desde 1974 se han llevado a cabo más de 30 proyectos de **investigación** y desarrollo en el **campo** de construcciones **ecológicas**, viviendas de bajo **costo** y especialmente en el campo de las construcciones en tierra.

Ha diseñado varias edificaciones particulares y públicas donde el barro es material predominante. Sus obras se encuentran no solo en Europa, sino también en América del Sur, América Central e India.

Ha publicado varios libros y más de 200 artículos. Ha participado como invitado en más de 30 conferencias internacionales. Asimismo ha dado numerosos cursos en Guatemala, Paraguay, **México** y Venezuela y conferencias en diferentes universidades del mundo.

Gernot Minke

# Techos verdes

Planificación, ejecución,  
consejos prácticos

EDITORIAL FIN DE SIGLO

Gernot Minke:  
*Tectos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos*

Editorial Fin de Siglo  
Eduardo Acevedo 1624 - Tel. 400 0214  
linsiglo® [adinet.com.uy](mailto:adinet.com.uy) - [www.ventajalibros.com](http://www.ventajalibros.com)

ISBN; 9974-49-323-4

Traducción del alemán: *Arq. Denize Enlz Lagiotta*, Montevideo, Uruguay  
Armado: *Friedemann Mahfke*. Kassel, Alemania

# Índice

<b>1. Ejemplos históricos.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Las ventajas del techo verde.....</b>	<b>9</b>
Introducción.....	9
Reducción de las superficies pavimentadas.....	10
Producción de oxígeno, consumo de dióxido de carbono.....	10
Limpieza del aire.....	10
Reducción del remolino de polvo.....	12
Regulación de la temperatura.....	12
Regulación de la humedad.....	13
Protección de la membrana impermeable, vida útil.....	15
Efecto de aislación térmica.....	16
Protección térmica para verano.....	17
Aislación acústica.....	17
Protección contra incendio.....	20
Capacidad de retención del agua.....	20
Percepción de aromas.....	21
Espacio vital para insectos.....	21
Efectos estéticos y psicológicos.....	21
Integración con el paisaje.....	21
<b>3. Fundamentos para la planificación. Aspectos generales.....</b>	<b>24</b>
Significado de la superficie de hoja.....	24
Inclinación del techo.....	25
Formas de enjardinar.....	25
-Verdeado intensivo.....	25
- Verdeado extensivo.....	25
Consideraciones de carga.....	28
Altura del techo y orientación.....	28
Transporte y colocación del sustrato.....	29
Utilidad.....	29
Desagüe.....	29
<b>4. Componentes de la construcción del techo.....</b>	<b>32</b>
Generalidades.....	32
Estructura y aislación térmica.....	33
Membrana de techo y protección contra la perforación por causa de las raíces.....	37
Protección contra daños mecánicos.....	41
Capa de drenaje.....	41
Sustrato.....	44

Vegetación.....	44
- Criterios de elección.....	44
- Tipos de vegetación.....	48
- Pastos silvestres y vegetación de pasto-hierba para altura de sustrato de 12 a 18 cm.....	49
- Vegetación de Sedum y de Sedum-hierba y pasto para una altura de sustrato de 5 a 8 cm.....	50
- Vegetación de musgo y Sedum para altura de sustrato de 3 a 5 cm.....	51
<b>5. Sistemas de techos verdes.....</b>	<b>52</b>
Generalidades.....	52
Enjardinado de techo plano.....	52
Techos de leve inclinación.....	53
Techos de fuerte inclinación.....	54
Techos empinados.....	54
Verdeados sencillos.....	59
Enjardinado con plantas trepadoras.....	62
<b>6. Detalles constructivos.....</b>	<b>63</b>
Bordes y uniones de techos.....	63
Seguridad contra el deslizamiento del sustrato.....	69
Desagüe.....	71
<b>7. Enjardinado posterior.....</b>	<b>73</b>
<b>8. Cuidados de terminación, riego.....</b>	<b>74</b>
<b>9. Prueba de hermeticidad.....</b>	<b>75</b>
<b>10. Autoconstrucción.....</b>	<b>76</b>
<b>11. Mantenimiento.....</b>	<b>80</b>
<b>12. Costos, vida útil.....</b>	<b>80</b>
<b>13. Bibliografía.....</b>	<b>84</b>
<b>14. Fotografía.....</b>	<b>85</b>

# 1. Ejemplos históricos

Los techos verdes son conocidos hace siglos, tanto en los climas fríos de Islandia (fig. 1.1), Escandinavia (fig. 1.3), USA (fig. 1.4) y Canadá, como en los climas cálidos de Tanzania (fig. 1.2).

En las zonas de climas fríos, "calientan", puesto que almacenan el calor de los ambientes interiores y en los climas cálidos "enfrian", ya que mantienen aislados los espacios interiores de las altas temperaturas del exterior. En estos techos, la vegetación junto con la tierra moderan extraordinariamente las variaciones de temperatura en los ambientes de la vivienda. De un modo natural el calor acumulado no sólo se almacena sino que también se absorbe.

La eficacia de la acumulación de calor y la rapacidad de aislación térmica de un techo de panes de césped, es fácilmente comprobable en la tradicional casa de terrones de turba de Islandia, recubierta de ese modo. Esta es habitada también en invierno sin calefacción artificial, de modo



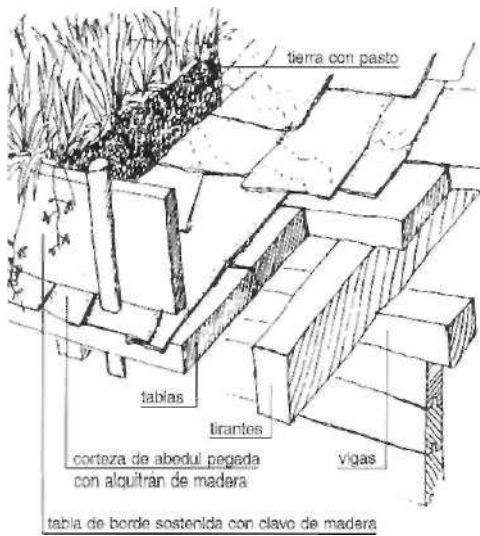
1.2 Casa Hehe (Tansania)

que sólo el calor humano es suficiente para lograr una confortable temperatura ambiente.

El techo consta de 2 o 3 capas de turba, apoyadas sobre ramas, cubiertas por gruesos panes de césped. A pesar de que la construcción del techo por su naturaleza no es impermeable, si su inclinación es suficiente no filtran generalmente el agua de lluvia ni de la nieve al derretirse, porque



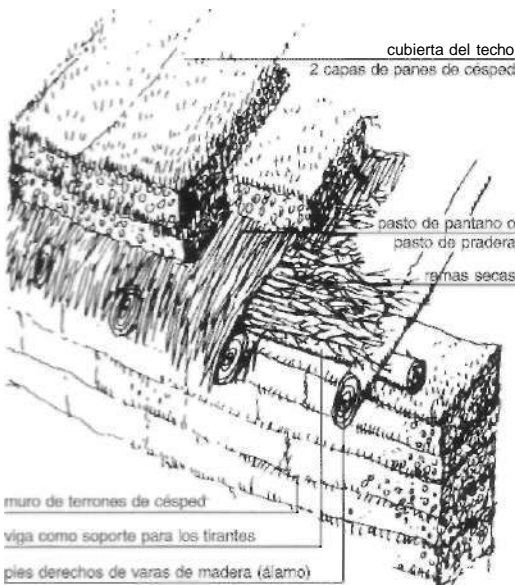
1.1 Casas tradicionales de panes de césped (Islandia)



la turba no absorbe agua cuando está bien seca.

En una técnica similar fueron erigidas hace aproximadamente 100 años las casas de terrones de césped de las poblaciones del norte de USA y Canadá. El sistema constructivo empleado probablemente proceda de Europa del Norte. Los gruesos muros entre 60 y 90 cm de ancho eran de terrones de césped de 10 cm de espesor que se colocaban trabados como en una pared de piedras y con la capa de césped hacia abajo. La construcción del techo consistía en tirantería, estructura de ramas, pasto de pradera y 2 capas de terrones de césped (fig. 1.4).

### 1.3 Construcción de los techos de pasto tradicionales escandinavos (Minke, Witter 1982)



El tradicional techo de pasto de Escandinavia tiene una inclinación de entre 30° y 45° y consta de una capa gruesa de unos 20 cm de terrones de césped, colocados sobre varias capas de corteza de abedul. Esta, por su alto contenido de tanino, es relativamente resistente a la descomposición y tradicionalmente era sellada con alquitrán para lograr un estrato resistente al pasaje de raíces y agua. Como el alquitrán de madera está clasificado como cancerígeno, esta solución no es recomendable. Además, la vida útil del techo es de aproximadamente 20 años.

### 1.4 Construcción de una "sodhouse" cubierta con panes de césped, USA (Minke, Witter 1982)



## 2. Las ventajas del techo verde

### Introducción

Debido a la concentración de edificios y tránsito vehicular, la vida en nuestras ciudades se ha vuelto insana. Los autos y la calefacción consumen el escaso oxígeno de hoy día y producen sustancias nocivas en abundancia. Enormes superficies de hormigón y asfalto llevan a un sobrecalentamiento de la atmósfera de las zonas urbanas y dan lugar a que la suciedad y partículas de sustancias nocivas que se depositan en el suelo, suban en remolino por el calor generado y se desparramen sobre la ciudad entera. En las noches de verano alcanzan en el centro de una gran ciudad, temperaturas del aire de entre 4° y 11 °C más altas que en los suburbios (Lótsch 1981). Según Lótsch las ciudades tienen hasta un 15% menos de horas de sol directo y una mayor frecuencia de niebla (de 30 a 100%) de acuerdo a la época del año.

Jardines al frente y patios enjardinados, pero sobre todo techos y fachadas enjardinados, podrían mejorar decididamente el clima polucionado de las ciudades: el aire se purificaría, se reducirían considerablemente los remolinos de polvo y las variaciones de temperatura y porcentajes de humedad disminuirían. Para lograr un clima urbano saludable, probablemente sería suficiente con enjardinar entre un 10 y un 20% de todas las superficies techadas de la ciudad, ya que un techo de césped sin podar tiene promedialmente de 5 a 10 veces más de superficie de hojas que la misma área en un parque abierto (ver cap. 3).

Se puede partir de la base de que en los barrios céntricos de las grandes ciudades 1/3 de la superficie está edificada, 1/3 corresponde a las calles y plazas, a su vez pavimentadas, y solamente queda 1/3 de superficies verdes sin pavimentar. Si sólo por cada cinco techos hubiera uno de césped, la superficie de hojas en esa ciudad se duplicaría.

Los techos verdes además de influir en el mejoramiento del clima de la ciudad, también optimizan la aislación térmica, el almacenamiento de calor del edificio, y su aislación acústica. Además son considerados, a largo plazo, más económicos que las cubiertas convencionales (ver cap. 11).

Los techos enjardinados conducen, en esencia, a una construcción ecológica y económica. Como se señala a continuación:

- disminuyen las superficies pavimentadas,
- producen oxígeno y absorben CO<sub>2</sub>,
- filtran las partículas de polvo y suciedad del aire y absorben las partículas nocivas,
- evitan el recalentamiento de los techos y con ello disminuyen los remolinos de polvo,
- reducen las variaciones de temperatura del ciclo día - noche y
- disminuyen las variaciones de humedad en el aire.

Además:

- tienen una larga vida útil si es correcta su ejecución,

- surten efecto como aislamiento térmico,
- protegen de los intensos rayos solares del verano a las habitaciones ubicadas bajo el techo,
- reducen el pasaje de sonido del exterior,
- valen como incombustibles y
- absorben la lluvia, por lo que alivian el sistema de alcantarillado.

Y por último, algo no menos relevante:

- las hierbas silvestres en el techo verde generan aromas agradables,
- dan alojamiento a insectos y escarabajos,
- son estéticos e influyen positivamente en el buen estado de ánimo y en la distensión de las personas.

## Reducción de las superficies pavimentadas

Debido al excesivo incremento de las superficies selladas, surgen en las zonas de aglomeración urbana, influencias negativas en el agua domiciliaria, la calidad del aire y el microclima. El mal clima en nuestras grandes ciudades podría mejorarse esencialmente a través de un aumento de superficies verdes, fundamentalmente enjardinando edificios y reduciendo las superficies pavimentadas.

Enjardinados de 10 a 20 cm de altura de vegetación sobre aproximadamente 15 cm de sustrato equivalen de 5 a 10 veces más superficie de hojas que la misma área en un parque abierto (ver cap. 3), como ya se mencionó.

## Producción de oxígeno, consumo de dióxido de carbono

La vegetación de los techos verdes toma, como todas las plantas,  $\text{CO}_2$  del aire y libera oxígeno. Esto sucede en el proceso de fotosíntesis, en el que 6 moléculas de  $\text{CO}_2$  y 6 moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ , mediante un consumo de energía de 2,83 kJ, producen 1 molécula de  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  (glucosa) y 6 moléculas de  $\text{O}_2$ . En el proceso de la respiración se produce  $\text{CO}_2$  y se consume  $\text{O}_2$ . Sin embargo solamente de 1/5 a 1/3 de las sustancias ganadas por la fotosíntesis son consumidas nuevamente. Mientras las hojas verdes sobre el techo aumenten, se generará oxígeno y se consumirá  $\text{CO}_2$ . Si existe un equilibrio entre el crecimiento y muerte de partes de las plantas, siempre existiría la ventaja de que se extraiga  $\text{CO}_2$  del aire y quede almacenado en ellas.

## Limpieza del aire

Las plantas pueden filtrar polvo y partículas de suciedad. Estas quedan adheridas a la superficie de las hojas y son arrastradas después por la lluvia hacia el suelo. A su vez las plantas pueden absorber partículas nocivas que se presentan en forma de gas y aerosoles.

Investigaciones de Bartfelder demostraron, que en los barrios céntricos de las ciudades, altamente contaminados, también los metales pesados son captados por las hojas (Bartfelder y Köhler 1986).

Mediciones sobre una calle federal suiza dieron como resultado que un seto de 1m de alto y 0,75m de ancho reduce un 50%, a través de su efecto de filtro, la



Vivienda en Kassel (Alemania)



International Sivananda Yoga Vedanta Center Lodge, Val-Morin, Québec (Canadá)

contaminación por plomo de la vegetación ubicada detrás de él (mencionado en Lótsch 1981).

## Reducción del remolino de polvo

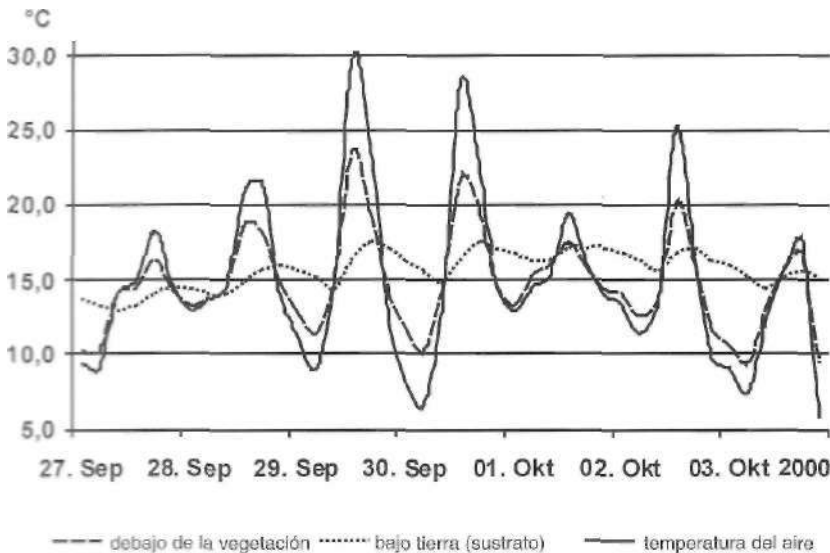
Los techos cubiertos con vegetación disminuyen considerablemente el recalentamiento de las superficies techadas.

En Europa Central, un techo plano aislado térmicamente, cubierto con grava y no protegido por plantas, llega a los 60°C con una temperatura del aire de 25°C en un día de verano, y en circunstancias extremas llega hasta los 80°C . Esto produce sobre los techos un movimiento de aire ascendente ("térmica"), que para una gran superficie techada de 100 m<sup>2</sup> puede alcanzar 0,5 m/seg. (Robinette 1972, pág. 459). También hace que las partículas de suciedad y polvo depositadas sobre calles, plazas y patios, nuevamente sean impulsadas a la

atmosfera y se formen capas de gases, humos y suciedad sobre los ámbitos residenciales. Mediante techos enjardinados se puede reducir en gran proporción este movimiento del aire, porque sobre áreas verdes no surge ninguna "térmica", ya que al rayo del sol la temperatura en el colchón de pasto es permanentemente inferior a la temperatura del aire.

## Regulación de la temperatura

Es por medio de la evaporación de agua, la fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor de su propia agua, que la planta extrae el calor de su ambiente. Este efecto de enfriamiento, que se hace perceptible fundamentalmente en los días cálidos de verano, puede demandarle el 90% de la energía solar consumida. Con la evaporación de un litro de agua son consumidos casi 2,2 MJ (530 kcal) de energía. La condensación del vapor de



2.1 Temperaturas de un techo verde con un sustrato de 16 cm medidas durante una semana de verano, Kassel (Alemania)

agua en la atmósfera, pasa a formar nubes, donde la misma cantidad de energía calórica es liberada nuevamente. Lo mismo sucede cuando por la noche se condensa la humedad en las plantas. La formación del rocío matinal en fachadas y techos verdes trae aparejada una recuperación del calor.

Por lo tanto, las plantas solas pueden a través de la evaporación y la condensación de agua, reducir las oscilaciones de temperatura. Este proceso se fortalece aun más por la gran capacidad de almacenamiento de calor del agua existente en las plantas y en el sustrato, como así también a través de la fotosíntesis, ya que por cada molécula de  $C_6H_{12}O_6$  (glucosa) generada son consumidos 2,83 kJ de energía.

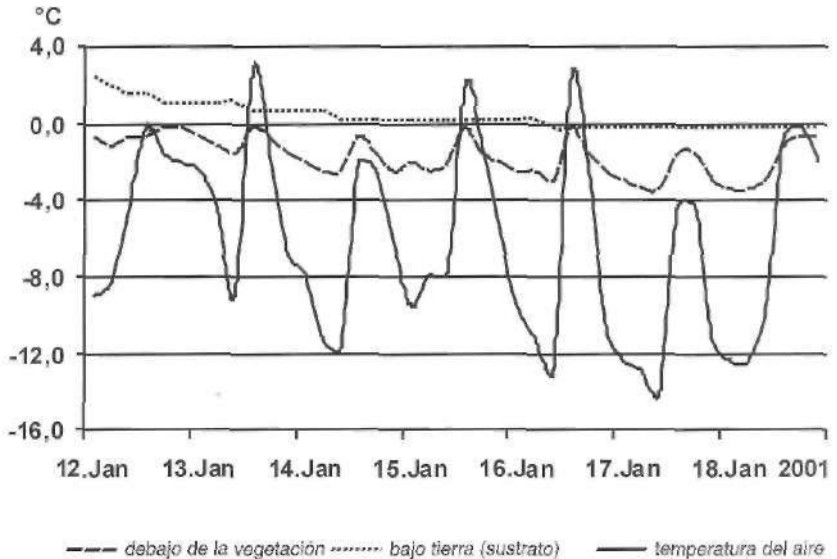
Las figuras 2.1 y 2.2 muestran que en un techo de pasto en Kassel (Alemania), con un sustrato de 16 cm de espesor para una temperatura exterior al mediodía de 30°C había bajo la vegetación 23°C y bajo la capa de sustrato solamente 17,5°C (fig. 2.1). En el mismo techo se midieron

en invierno, para una temperatura exterior de -14°C, sólo 0°C (fig. 2.2), bajo la capa de sustrato. Las curvas aclaran que un denso techo de pasto en verano tiene un efecto de enfriamiento considerable y en invierno muestra un muy buen efecto de aislación térmica.

## Regulación de la humedad

Las plantas también reducen las variaciones de humedad. Particularmente cuando el aire está seco evaporan una considerable cantidad de agua y elevan así la humedad relativa del aire. Según Robinette (1972, pág. 51 f) 1 há de huerto evapora en un día caluroso de verano aproximadamente 1500 m<sup>3</sup> de agua y un seto aproximadamente de 0,28 a 0,38 m<sup>3</sup>.

Por otra parte, las plantas pueden disminuir la humedad del aire con la formación de rocío. Así se condensa la niebla sobre las hojas y tallos de un techo verde y luego pasa a la tierra en forma de gotas de agua.



2.2 Temperaturas de un techo verde con un sustrato de 16 cm, medidas durante una semana de invierno, Kassel (Alemania)



Urbanización Laher Wiesen, Hannover-Bothfeld (Alemania)

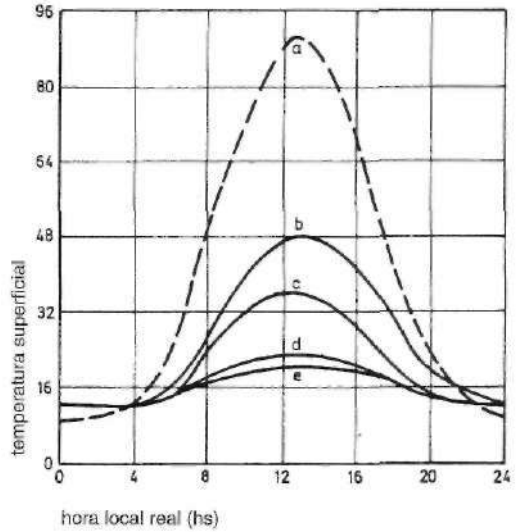
## Protección de la membrana impermeable, vida útil

La duración de todos los techos convencionales, sean éstos cubiertos con bitumen, tejas, ripia, metal, chapas onduladas o similares es limitada por la influencia del tiempo.

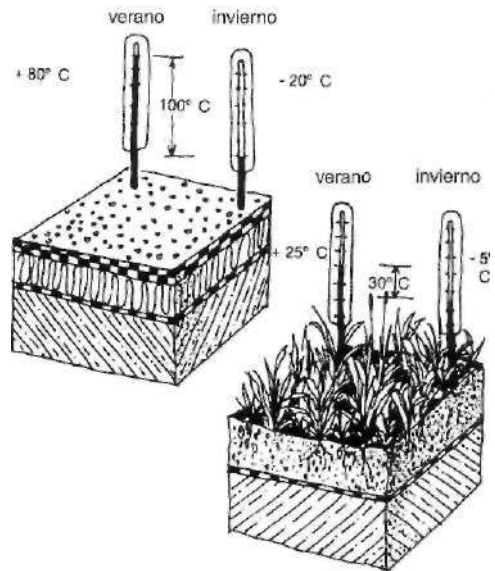
Calor, frío, lluvia, rayos ultravioletas, viento, así como ozono y gases provenientes de las industrias causan daños mecánicos y/o procesos de descomposición químicos o también biológicos.

El bitumen sobre las superficies techadas, tiene que soportar en Europa, por ejemplo, a lo largo del año, diferencias de temperaturas de hasta  $100^{\circ}\text{C}$  ( $-20^{\circ}\text{C}$  hasta  $+80^{\circ}\text{C}$ ). Si ese techo se enjardinara extensivamente, se reduciría la diferencia de temperatura aproximadamente a  $30^{\circ}\text{C}$  (figs. 2.3 y 2.4). A su vez, la capa impermeable del techo quedaría totalmente protegida de los rayos ultravioletas y de daños mecánicos.

En Alemania, según el 2º informe de daños en la construcción del Ministerio Federal para Ordenamiento de Espacios, Construcción y Urbanismo, se estableció que mientras que el 80% de los techos planos después de 5 años de construidos, presentaron los primeros daños, un techo verde, con una correcta elección de la impermeabilización y una buena ejecución de las uniones, tiene una vida útil casi interminable (ver cap. 11).



2-3 Temperaturas medidas a lo largo del tiempo en diferentes superficies de techos planos en un día soleado de verano (Gertis et al. 1977).  
 a) cartón bituminoso, negro  
 b) vertido de grava, claro  
 c) pintura clara reflectiva  
 d) mojado, plantado artificial  
 e) plantado



2-4 Máximas variaciones de temperatura en techos no enjardinados y enjardinados (Minke, Witter 1982).

## Efecto de aislación térmica

Los colchones de plantas sobre los techos tienen un alto efecto de aislación térmica, sobre todo debido a los siguientes fenómenos:

- El colchón de aire encerrado hace el efecto de una capa de aislante térmico. Cuanto más denso y grueso sea éste, mayor es el efecto.
- Una parte de la radiación calórica de onda larga emitida por el edificio es reflejada por las hojas y otra parte absorbida. Es así que disminuye la pérdida de radiación de calor del edificio.
- Una densa vegetación impide que el viento llegue a la superficie del sustrato. Como ahí casi no existe movimiento de aire, la pérdida de calor por efecto de viento se acerca a cero. Ya que en edificios viejos aislados, sin protección térmica mejorada, la pérdida de calor por convección (en particular por el viento) puede ser mayor al 50%, una densa capa de plantas lograría en estos casos el más eficaz ahorro de energía.



2.5 Ampliación sobre azotea con enjardinado de techo, Berlín-Kreuzberg (Alemania)

- De mañana temprano, cuando la temperatura exterior es más baja, y por lo tanto la diferencia de temperatura y la pérdida de calor de los ambientes calientes hacia afuera es mayor, se forma rocío en la vegetación. La formación de rocío aumenta la temperatura en la capa de vegetación (porque en la condensación de 1 g de agua se liberan aproximadamente 530 calorías de calor). De modo que a través de esto la pérdida de calor transmitida nuevamente se reduce.
- En zonas de climas fríos, en las que en invierno la tierra se congela, se produce una ventaja adicional: para la transformación de un gramo de agua a hielo se liberan aproximadamente 80 calorías, sin que la temperatura baje. Por consiguiente, se mantiene la tierra congelada durante largo tiempo a 0°C, incluso cuando la temperatura exterior es bastante más baja. Con una temperatura de +20°C (interior), de -20°C (exterior) y una temperatura de la tierra de 0°C disminuye la pérdida de calor por transmisión del techo, por lo tanto, alrededor de un 50%. Vale decir que el aislamiento térmico aumenta al doble respecto al mismo techo sin sustrato ni vegetación. Al derretirse el hielo se consumirá nuevamente la correspondiente energía de 80 cal/g de hielo para la retransformación del estado de agregación, ya que ésta es extraída del aire; surge entonces, a través de este efecto de ahorro latente, una ganancia de calor para el techo.

Dürr parte de la base de que un denso colchón de pasto tiene un valor de 0,17 W/mK y un sustrato de tierra húmeda muestra un I de cerca de 0,6 W/mK (Dürr 1995).



## Protección térmica en verano

En regiones con intensa radiación solar y zonas de climas cálidos, el efecto de enfriamiento de los techos verdes es aun más notorio que el efecto de aislación térmica en invierno.

En Alemania se comprobó reiteradamente, que para temperaturas al exterior de 30°C, la temperatura en la tierra del techo verde no subía por encima de 25°C. Esto está ligado, por un lado a que a causa de la sombra arrojada por la vegetación, la radiación solar no calienta la tierra; y por otro a que la energía solar es ampliamente usada para la evaporación de agua, reflexión y para la fotosíntesis. La figura 2.5 muestra un ejemplo de Berlín-Kreuzberg donde, a través del reciclaje del espacio del techo, se creó un local habitable adicional. Con el enjardinado del techo surgió bajo el mismo, un clima confortable.

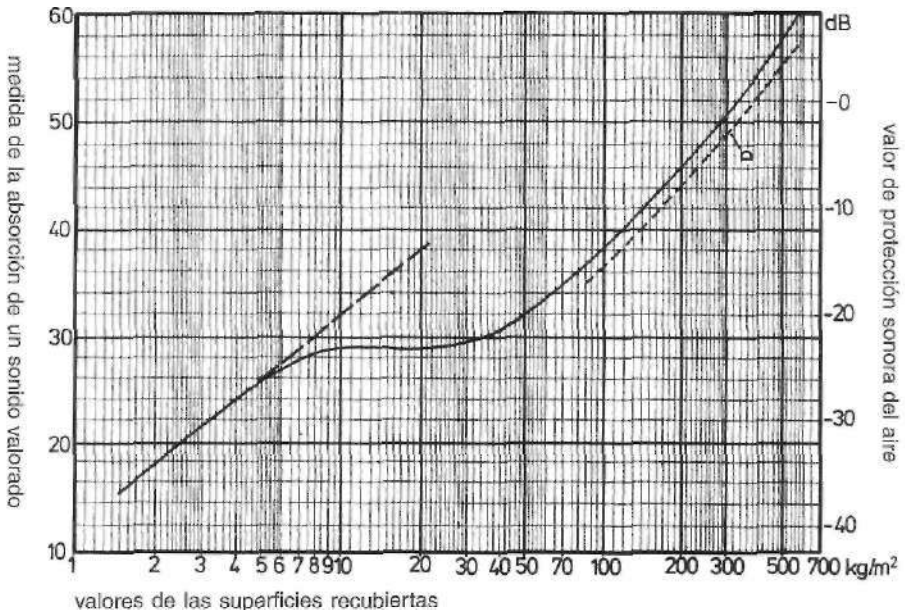
## Aislación acústica

Las plantas reducen el ruido mediante la absorción (transformación de la energía sonora en energía de movimiento y calórica), reflexión y deflexión (dispersión).

Investigaciones de un laboratorio suizo dieron como resultado, que una pesada alfombra con base de fieltro tiene menos capacidad de absorber el sonido que un césped (Robinette 1972, pág. 42). Mediciones sobre un techo plano enjardinado de un hospital en Karlsruhe (Alemania), muestran que, en las fachadas ubicadas en las inmediaciones del jardín del techo, a consecuencia de la absorción y la reflexión disminuida, el ruido del tránsito baja alrededor de 2-3 dB.

Por lo tanto son reducidas más pronunciadamente las frecuencias altas que se consideran especialmente molestas (Mürb 1981).

En los techos verdes, en general, no es decisivo el efecto de absorción acústica de



2.6 Dependencia de la aislación acústica del aire con el peso de las superficies (Gosele, Schüle 1983)



2.7 Techo con vegetación de pastos y hierbas silvestres, Urbanización ecológica en Kassel (Alemania)



2.8 Techo de césped sobre una cúpula de tierra, Urbanización ecológica en Kassel (Alemania)





2.9 Vivienda de Urbanización ecológica en Kassel (Alemania)

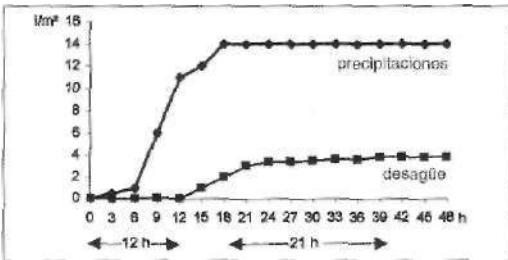


2.10 Techos de césped con 45° de inclinación, Siegen-Oberscheiden (Alemania)

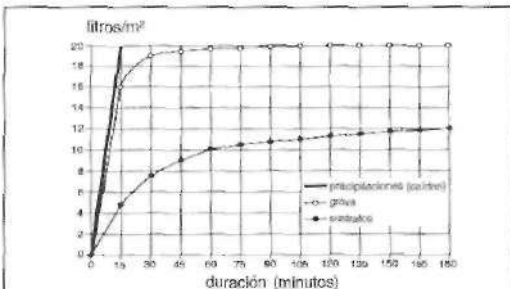
las plantas, sino del sustrato sobre el cual las plantas crecen. Para un ángulo vertical de incidencia del sonido, la capa de plantas consigue por absorción sólo una insignificante disminución del sonido de alta frecuencia, mientras que la absorción acústica de la capa de tierra para un espesor de 12 cm asciende aproximadamente a 40 dB, y para un espesor de 20 cm aproximadamente 46 dB (fig.2.6).

## Protección contra incendio

Un enjardinado en el techo ofrece una protección ideal contra incendio para techos propensos a tomar fuego. En Alemania los techos verdes son válidos como cerramientos superiores pesados. Para las secciones incendiables y aberturas en la superficie techada, existen exigencias particulares (ver cap. 3).



2.11 Volumen de precipitaciones y de desagüe pluvial medidos en un techo verde inclinado después de una lluvia continua de 18 hs de duración (s. Katzschner 1991)



2.12 Desagüe pluvial de techo con sustrato de 10 cm de espesor total en comparación con techos planos de grava (Kolb, Schwarz 1999)

## Capacidad de retención del agua

En muchas grandes ciudades de Latinoamérica y Asia existe el peligro de que después de una lluvia torrencial las calles queden inundadas. En Guadalajara (México), por ejemplo, en el 2002, las principales calles se cubrieron con una altura de 30 cm de agua, de modo que todo el tránsito quedó cortado durante un período de 1 a 2 horas.

Un techo verde con 20 cm de sustrato de tierra y arcilla expandida puede, según Dürr (1995, pág. 39), almacenar 90 mm de agua (=90 litros por m<sup>2</sup>).

Por su poder de retención de agua, los techos verdes llevan a la disminución de los "altos picos de agua". Según la norma alemana DIN 1986, parte 2, el coeficiente de desagüe de aguas pluviales para superficies techadas enjardinadas con un mínimo de 10 cm de espesor, es de 0.3. Esto significa, que sólo el 30% de la lluvia caída desagua y el 70% queda retenida en el techo verde o se evapora. Para techos comunes con más de 3° de inclinación debe, sin embargo, contarse con un desagüe de pluviales del 100%.

Mediciones divulgadas por la Universidad de Kassel indican que el retraso del desagüe de pluviales después de una fuerte lluvia es más decisivo aún para el alivio del sistema de desagüe: en un techo verde con 12° de inclinación y 14 cm de espesor de sustrato, después de una fuerte lluvia durante 18 horas, se cronometró un retraso de 12 horas del desagüe pluvial. Terminó de desaguar la lluvia recién 21 horas después de que dejara de llover (fig. 2.11). El desagüe pluvial ascendió en ese período de tiempo sólo al 28,5% (Katzschner 1991).

En un ensayo del Instituto del Estado Federado de Baviera para viticultura y horticultura en Veitshöchheim, se midió que en un sustrato de sólo 10 cm de espesor, para una intensidad de lluvia de 20 l/m<sup>2</sup> en 15 minutos, en el mismo tiempo, solamente desaguan 5 l/m<sup>2</sup>, contra 16 l/m<sup>2</sup> en un techo de grava (fig. 2.12).

Estas investigaciones muestran que los techos verdes, mediante su efecto de parachoque y retardo, alivian considerablemente las redes de alcantarillado de la ciudad, que siempre deben ser dimensionadas para las precipitaciones máximas. Por lo tanto, se podría redimensionar el sistema de alcantarillado, enjardinando grandes urbanizaciones y zonas industriales y así abaratar costos. En los sistemas separativos de desagüe podrían suprimirse las redes de alcantarillas para aguas pluviales, si el resto del agua se pudiera filtrar en el terreno.

## Percepción de aromas

Hierbas silvestres en el techo verde, como por ejemplo tomillo, lavanda y claveles producen aromas agradables. En contraposición los techos con bitumen producen con la radiación solar emanaciones, que no sólo transmiten olores desagradables, sino que también pueden ser perjudiciales para la salud.

## Espacio vital para insectos

Los techos verdes con pastos y hierbas silvestres ofrecen un espacio vital a mariposas, abejorros y escarabajos. Los techos con brezo son excelentes para las abejas.

## Efectos estéticos y psicológicos

Es distinto el efecto que produce un techo de grava o con bitumen negro-grisáceo, que el de un techo de hierbas silvestres que con su belleza natural, sienta bien sobre el estado de ánimo y el espíritu humano. La vista del verde previene los estados depresivos y aumenta el rendimiento. Una pradera de pasto silvestre sobre el techo oscila con el viento y los movimientos ondulantes percibidos ópticamente actúan tranquilizando a las personas estresadas y estimulando a las cansadas. Un techo verde vive y anima a aquel que lo mira.

No sólo la época del año modifica la apariencia formal del techo verde, sino que también existen variaciones a causa de los diversos agentes atmosféricos y a través del transporte de semillas por pájaros y viento; llegan nuevas hierbas y pastos silvestres sobre el techo, y con las heladas y sequías desaparecen algunas plantas nuevamente. Queda así, una comunidad vegetal que soporta heladas, sequías y viento, y que por tanto, de acuerdo a la época del año, tiene diferentes colores y formas y además incluso en invierno sigue verde.

## Integración con el paisaje

Una casa enjardinada se ajusta más fácilmente al entorno, se integra con el paisaje mejor que una casa sin espacios verdes (fig. 2.9), particularmente cuando el techo llega hasta el nivel del jardín y por lo tanto la vegetación de éste sube directamente a la del techo (fig. 2.8, 2.9).





Ampliación sobre azotea con techos de césped, Berlín-Kreuzberg (Alemania)



Urbanización Laher Wiesen, Hannover-Bothfeld (Alemania)



Urbanización de techo verde en Düsseldorf-Unterbach (Alemania)



Enjardinado de techo empinado de la exposición federal del jardín en Berlín 1985 (Alemania)



# 3. Fundamentos para la planificación.

## Aspectos generales

### Significado de la superficie de hoja

La densidad y el espesor del pasto crecido, y por lo tanto también la cantidad de superficie de hoja, son decisivos para lograr muchas características positivas, como por ejemplo la limpieza del aire, la formación de rocío y el efecto de aislamiento térmico.

Según estudios del Laboratorio de Investigación de Construcción Experimental de la Universidad de Kassel, un césped recién cortado de 3-5 cm de altura tiene aproximadamente 6-9 m<sup>2</sup> de hoja verde por m<sup>2</sup> de superficie de suelo, mientras que un prado sin cortar, con pastos de hasta 60 cm de altura, tiene una superficie de hoja de 225 m<sup>2</sup> por m<sup>2</sup> de superficie de suelo (fig. 3.1). En un techo de pasto bien formado, la superficie de hoja por m<sup>2</sup> de techo es entre 50 y 100 m<sup>2</sup>; en cambio, con un techo con Sedum, es de sólo de 1 a 5 m<sup>2</sup>.

De acuerdo a esto, una instalación de parque al aire libre cuyo césped fue cortado regularmente, tiene sólo aproximadamente 10 m<sup>2</sup> de hoja verde por m<sup>2</sup> de superficie de suelo (incluidos los caminos).

Por lo tanto, quien quiera recibir un efecto especial de aislación térmica durante el período de invierno y un buen efecto de enfriamiento en el de verano con intensa radiación solar, debería elegir una vegetación lo más densa posible de pastos silvestres o una vegetación de pastos y hierbas silvestres.

3.1 Superficies de hoja, estudios del Laboratorio de Investigaciones para Construcción Experimental de la Universidad de Kassel (Alemania) 1981

Los techos verdes con Sedum crecido son bonitos a la vista porque se ponen coloridos en los tiempos de floración. Pero su efecto ecológico y físico-constructivo es menor respecto a una pradera de pastos silvestres sobre el techo.

Los techos verdes con hierbas como trébol, cebollino y margaritas, que a menudo son elegidos por motivos estéticos, tienen menos superficie de hoja que los techos de pasto y, por lo tanto, también un efecto positivo físico-constructivo y climático disminuido, pero siempre esencialmente más superficie de hoja que los techos con vegetación de Sedum o de musgo/Sedum.

vegetación estudiada	Superficie de hoja de diferentes formas de superficie de vegetación c/m <sup>2</sup> de superficie de suelo o de muro
césped: 3 cm de altura	6m <sup>2</sup>
5 cm de altura	9m <sup>2</sup>
pradera con pastos de 60cm de largo	hasta 225 m <sup>2</sup>
<b>techo de pasto en verano</b>	<b>más de 100 m<sup>2</sup></b>
<b>Sedum</b> hasta 8 cm de altura	1 m <sup>2</sup>
Sedum muy denso hasta 10cm de altura	2,4 m <sup>2</sup>
vid silvestre en fachada:	
-10 cm de espesor	3m <sup>2</sup>
- 20 cm de espesor	5 m <sup>2</sup>
hiedra en fachada de 25 cm de espesor	11,8 m <sup>2</sup>



## Inclinación del techo

La inclinación de la cubierta es decisiva para la construcción del techo verde y la elección del tipo de vegetación. En techos planos sin suficiente espesor de sustrato y sin capa de drenaje, suele presentarse un problema: se producen con fuertes lluvias, estancamientos de agua, lo que para muchas plantas es perjudicial, principalmente para los pastos, ya que la respiración de la raíz es severamente dañada.

Para lograr un costo razonable, la construcción del techo debería tener una inclinación mínima del 5%, porque así no es necesario un drenaje especial. Los techos de gran longitud, con más del 40% (22°) de inclinación, necesitan en general precauciones especiales, que impidan que el sustrato se deslice (ver cap. 5).

Conversión de los valores de inclinación de techo de % en grados y viceversa

%	grados	grados	%
5	2,9	3	5,2
10	5,7	5	8,8
15	8,5	10	17,6
20	11,3	15	26,8
30	16,7	20	36,4
40	21,8	25	46,6
50	26,6	30	57,7
60	31,0	35	70,0
80	38,7	40	83,9
100	45,0	45	100

3.2 Valores de inclinación de techo en porcentaje y grados

## Formas de enjardinar

Colocar un huerto sobre un techo plano, y plantar verduras o lechugas es posible, pero tiene poco sentido. El extremo sobre el techo fuertemente castigado por la carga del viento, como también su relativamente escasa altura de sustrato, producen fuertes variaciones de temperatura y humedad, que no son propicias para el crecimiento de plantas de cultivo.

¡El cultivo de frutas, verduras y lechugas pertenece al jardín y no al techo! En este libro no serán tratados los huertos sobre techos por ese motivo.

En la literatura normalmente los techos verdes se dividen en dos grupos: verdeados intensivos y verdeados extensivos.

### Verdeado intensivo

Los verdeados intensivos abarcan plantaciones de plantas vivaces, plantas leñosas y superficies de césped, que usualmente se encuentran en campo abierto. Estas plantas no son posibles sobre techos inclinados, sino solamente sobre techos planos. Es indispensable un espesor de sustrato de más de 30 cm; además deben ser abastecidas regularmente con agua y nutrientes. Los verdeados intensivos son como una zona enjardinada. Ya que requieren de cuidados intensivos y costosos especiales, por así decirlo, no nos vamos a referir más a los jardines de techo.

### Verdeado extensivo

Bajo verdeado extensivo se designa una plantación que crece naturalmente sin ser sembrada, que se las arregla con un



Viviendas en Dortmund (Alemania)



Albergue estudiantil en Stuttgart-Hohenheim (Alemania)





i.cergue estudiantil en Stuttgart-Hohenheim (Alemania)

escaso espesor de sustrato desde 3 hasta 15 cm sin agua ni nutrientes, y forma una duradera y cerrada capa de plantas. Los pesos son menores a los  $1.6 \text{ kN/m}^2$  ( $160 \text{ kg/m}^2$ ). La vegetación de musgos, suculentas, hierbas o pastos de diferente composición puede sobrevivir sin cuidados y es resistente a la sequía y a las heladas. Esto significa que las plantas tienen que tener una buena capacidad de regeneración. Por este motivo se eligen generalmente plantas silvestres. Ver el capítulo 4 acerca de la construcción y el enjardinado.

## Consideraciones de carga

Para el dimensionado de la construcción del techo hay que tomar en cuenta, como carga permanente, el peso total del techo, el sustrato en el estado de saturación de agua y también la carga de la vegetación.

Durante la construcción del enjardinado del techo debe evitarse muy especialmente sobrepasar puntualmente la capacidad de carga admisible, ya sea por transporte de pesos o por almacenaje de materiales sobre el mismo. Esto puede suceder, por ejemplo al repartir la carga sobre maderos, placas o similares.

En techos extensivos de una sola capa de sustrato con drenaje poroso liviano (10 cm de espesor total), en estado de saturación de agua, se toma un peso de  $1,0 \text{ kN/m}^2$  ( $100 \text{ kg/m}^2$ ).

La fuerza de succión del viento ya conocida en los techos convencionales, en los verdes tiene otras características. La rugosidad de la superficie de la vegetación y sobre todo la posibilidad del pasaje de aire a través de la capa de plantas, posibilitan una compensación de presión

del aire entre la parte superior e inferior de la capa. Por ese motivo se reduce considerablemente el efecto de succión del viento. Además sucede que se genera, en el entramado de raíces en el sustrato, una distribución de las fuerzas, como, por ejemplo, no se da en una capa de grava. Es por eso que las normas de la Asociación Alemana de Jardineros de Techo, dan para los enjardinados extensivos de techos planos en edificios de hasta 8 m de altura sólo  $0,4 \text{ kN/m}^2$  de peso mínimo en la zona del medio y de  $0,8 \text{ kN/m}^2$  en las zonas perimetrales y de 8 m hasta 20m de altura  $0,65$  y  $1,3 \text{ kN/m}^2$  respectivamente. Como zona perimetral se considera una profundidad de  $1/8$  del largo del techo, mínimo 1 m, máximo 2 m. La práctica demostró que puede pasar, que los granos de grava, en las franjas de los bordes, por la succión del viento, sean expulsados hacia afuera; un techo de pasto bien enraizado con 15 cm de sustrato no sufre a causa de la succión del viento. Esto sólo puede darse en techos verdes con vegetación escasa y raíces débiles, por ejemplo con Sedum y bordes extremos más expuestos a los vientos en grandes alturas.

## Altura del techo y orientación al cielo

La carga del viento y la radiación solar influyen sobre todo en la evaporación y tienen por lo tanto influencia en la elección de las plantas. Con la altura del techo sube la carga del viento y con ello también la evaporación en las plantas. En techos inclinados orientados hacia el sol, como la radiación solar es más fuerte, se secan antes, de modo que allí se instalarán otras especies de plantas.

## Transporte y colocación del sustrato

En Europa, el sustrato es transportado, siempre y cuando no sea mezclado por uno mismo, como lo más sencillo, en Big-Bags (contenedores de 0,8-2,5 m<sup>3</sup> de capacidad), por grúa o excavadora elevado hasta el techo y allí vaciado. En techos más bajos se puede efectuar con la grúa de carga del camión repartidor. El material suelto, a granel generalmente, se transporta con la excavadora o por medio de un elevador para techo con una carretilla. Para grandes cantidades conviene que el transporte sea con silos contenedores, desde los cuales el material se puede proyectar sobre el techo.

Si el sustrato va a ser mezclado en el lugar, como por ejemplo de tierra madre y arcilla expandida partida o lava expandida, o de ladrillo poroso picado, se puede lograr muy fácil con una excavadora o con un cargador frontal.

En techos bajos estos aparatos permiten además subir el material al techo. En techos más altos y superficies pequeñas, se presenta generalmente el elevador para techo como la solución más económica.

## Utilidad

Los techos verdes con verdeado extensivo no son puestos para el uso de la gente y deberían ser pisados sólo por motivos de control o en caso necesario de cuidado.

De otro modo tienen que planificarse fijaciones correspondientes de superficie para caminería y terrazas, por ejemplo con gravilla, planchas de madera o de metal o parrillas.

## Desagüe

El desagüe se produce principalmente en el sustrato; si la capa es fina o la lluvia es copiosa, también se produce en la superficie.

Según las normas alemanas DIN 1986 parte 2, deben tomarse los siguientes valores de desagüe de aguas pluviales para superficies de techos enjardinados:

- para verdeados intensivos: 0,3 (es decir 30%)
- para verdeados extensivos por encima de 10 cm de espesor: 0,3
- para verdeados extensivos por debajo de 10 cm de espesor: 0,5

Las mediciones de la Universidad de Kassel dieron que en un techo de pasto con 12° de inclinación y 14 cm de espesor de sustrato, desagua menos del 30% de la caída de lluvia (Katzschner 1991).





Viviendas en Stadthagen (Alemania)



Viviendas en Uchte (Alemania)



Escuela Waldorf en Hannover-Bothfeld (Alemania)



Escuela Waldorf en Hannover-Bothfeld (Alemania)



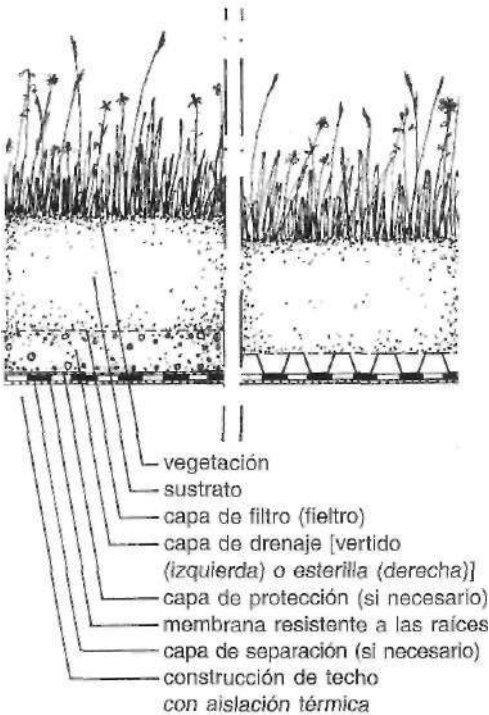
# 4. Componentes de la construcción del techo

## Generalidades

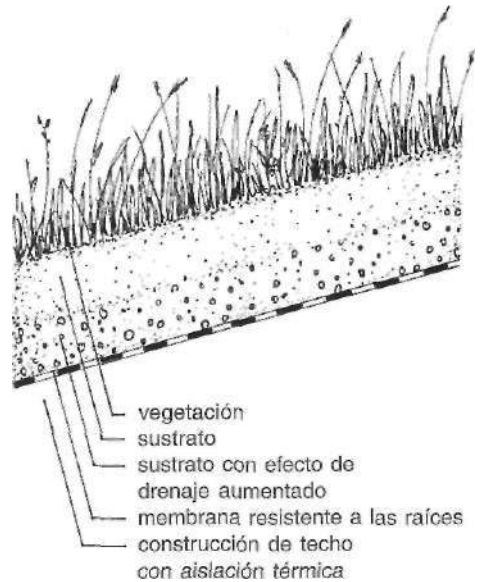
Como los pastos no resisten el estancamiento de agua, en techos planos con vegetación de pasto deberá preverse una capa de drenaje para encauzar el agua excedente (fig. 4.1). El sustrato es en ese caso de dos capas: la capa superior o capa de soporte de la vegetación es de suelo nutritivo y otorga anclaje para el trabajo de las raíces, y la capa inferior, de drenaje, sirve para desviar el agua, pero también para el almacenaje de ella. Ambas capas son separadas por una capa de filtro, que generalmente consiste en fieltro. Ésta impide que parte del suelo se transforme en barro líquido y se escurra en la capa de drenaje.

En techos inclinados a partir del 5% de pendiente, en general tal separación es innecesaria. En este caso es más sencilla y más barata la construcción en una sola capa, donde a la capa de soporte de la vegetación se le agregan partículas de minerales porosos, de modo que se produzca un suficiente efecto de drenaje (fig. 4.2). Es ventajoso, mezclar más partículas porosas en la zona de abajo que en la zona de arriba.

En techos sólo de pasto y en techos de pasto y mezcla de hierbas, con un sustrato de 15 cm de espesor, se comprobó que debe mezclarse: para la zona de abajo,



4.1 Construcción de un enjardinado de techo plano con sustrato en dos capas



4.2 Construcción en un enjardinado de techo inclinado con sustrato en una sola capa



2 partes de partículas para drenaje (arcilla expandida, pizarra expandida, lava expandida, escoria, piedra pómez o similares) con 1 parte de tierra, y para la zona de arriba, 1 parte de partículas para drenaje con 2 partes de tierra.

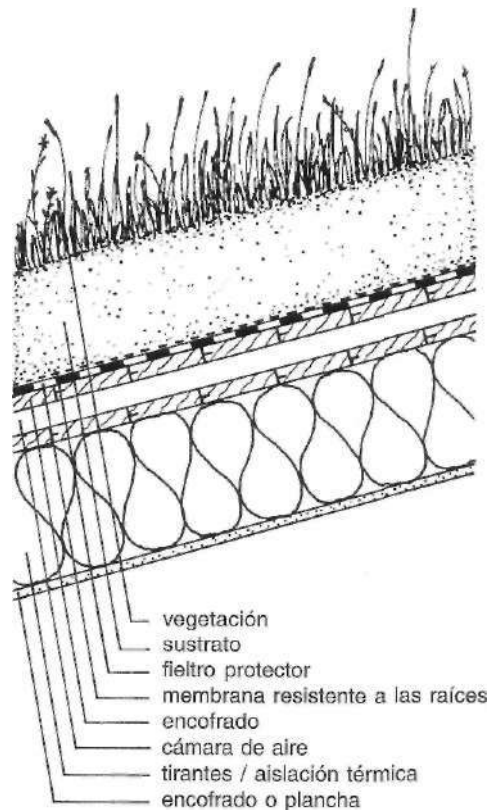
Para conseguir un colchón de vegetación lo más denso posible, deben elegirse techos de pasto sólo o techos de pasto y hierbas. Para esto alcanza, en techos inclinados, con una construcción de sustrato en una sola capa de 14-18 cm de espesor. Con espesores escasos aumenta el peligro del secado (especialmente en techos orientados al sol). Con espesores mayores se aumenta el peso innecesariamente y además se podrían asentar árboles. Si por razones de peso sólo fueran posibles finas capas de sustrato, entonces se debería recurrir a una vegetación de Sedum - pasto - hierba. Pero en este caso los espesores del colchón, y por lo tanto también los efectos positivos físico-constructivos y ecológicos, disminuirían mucho. Además las capas más finas de sustrato se secan mucho más rápido.

## Estructura y aislamiento térmico

Como estructura de una cubierta enjardinada sirven todos aquellos techos que puedan soportar la carga. Según en qué posición se ordene la aislación térmica adicional, se clasifican en dos tipos de techos:

- techos "fríos"
- techos "calientes"

En un *techo frío* (fig. 4.3) se dispone una capa fina de aire entre la aislación térmica y el techo verde, que sirve de capa de compensación de la presión de vapor y que es imprescindible en construcciones sin barrera de vapor.



4.3 Típica formación de un techo frío con enjardinado



Consultorio odontológico en Bücken (Alemania)



Consultorio odontológico en Bücken (Alemania)

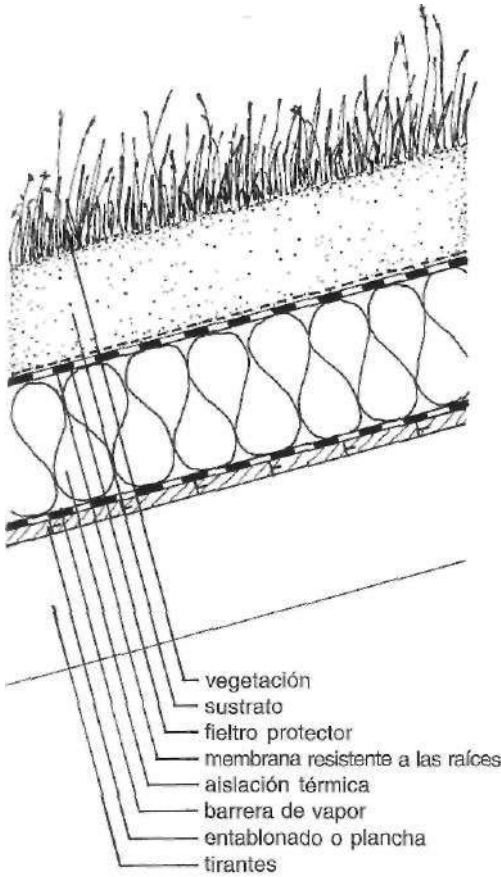




Jardín de infantes Waldorf, Wennigsen-Sorsum (Alemania), final de verano



Jardín de infantes Waldorf, Wennigsen-Sorsum (Alemania), primavera



4.4 Típica formación de un techo caliente con enjardinado

La gran desventaja del techo frío está en que los efectos positivos del enfriamiento en verano y aislación térmica en invierno no favorecen la habitabilidad bajo este techo. Por eso no es favorable construir techos verdes según el principio de techo frío.

En un *techo caliente* (fig. 4.4) se suprime la cámara ventilada de compensación de presión de vapor, de modo que los efectos físico-constructivos del techo de pasto produzcan beneficios en las habitaciones que se encuentren debajo. Tengamos en cuenta entonces que bajo la aislación térmica debe colocarse una barrera de vapor para evitar que entre vapor de agua a la capa aislante y pueda condensarse allí.

El techo caliente es la construcción más efectiva económica para una cubierta enjardinada.

## Membrana de techo y protección contra la perforación de las raíces

Generalmente se consigue la hermeticidad del techo, es decir ya capa impermeable de desviación del agua, al mismo tiempo que la protección contra la perforación de las raíces. En los habituales techos de bitumen y para juntas separadas es, sin embargo, indispensable una membrana adicional de protección contra las mismas.

Testeos de largos años muestran que las impermeabilizaciones de bitumen fueron atravesadas por raíces de distintas plantas de prueba (Pennigsfeld et al., 1981) y que ciertos microorganismos, que viven en las puntas de las raíces, pueden disolver materiales bituminosos (ver fig. 4.5).

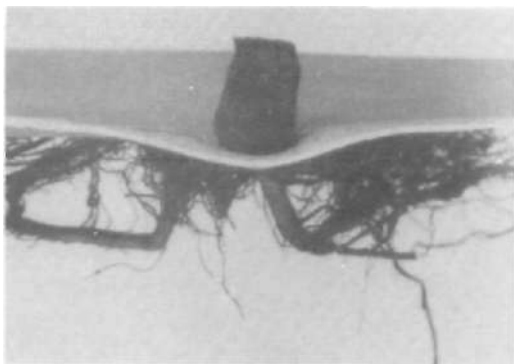
Incluso en uniones pegadas se presentan perforaciones causadas por éstas (fig. 4.6). Se deduce entonces que no es siempre posible en la práctica realizar un sellado hermético perfecto.

Si una rendija no está bien pegada o soldada, entra allí agua capilar, y pueden crecer dentro las puntas de raíces con sensores de humedad. También existen plantas cuyas puntas de raíces, cuando captan humedad, se fortalecen para poder atravesar las grietas o juntas a través del almacenaje de cristales de silicato. Por ese motivo los solapes de bandas o láminas deben ser soldados siempre con aire caliente o alta frecuencia.

Si las membranas del techo no son resistentes a las raíces, la solución más sencilla es colocar sobre ellas una fina lámina de polietileno. De estas láminas hay de hasta 6 u 8 m de ancho. Si es necesario añadir la lámina, deberá preverse un solape de por lo menos 150cm, ya que en el solape se mantiene mucho tiempo agua capilar y las raíces



4.5 Perforación producida por raíces de cardos en una membrana asfáltica de cerca de 15mm de espesor, después de 15 meses de duración del ensayo (Pennigsfeld et al. 1981)



4.6 Perforación en una unión pegada de dos láminas de PVC producida por una raíz (Pennigsfeld et al. 1981)



Vivienda en José Ignacio, Maldonado (Uruguay)



Vivienda en José Ignacio, Maldonado (Uruguay)





Vivienda en Rosdorf (Alemania)



Curucaca Hotel Fazenda, Bom Retiro (Brasil)

crecerían dentro. Se deberá colocar debajo de la lámina un fieltro protector por seguridad.

Un segundo y sencillo método se aplica a menudo en techos verdes escandinavos: sobre la capa de bitumen del techo se extiende una lámina entramada de polietileno de alta densidad. Esta tiene una extensión de 2 m de ancho, y se coloca con 25 cm de solape, y generalmente se pega con una masilla especial para juntas.

Las membranas soldadas de bitumen no son resistentes a las raíces; necesitan por lo tanto una membrana adicional de protección contra las perforaciones de las mismas, como por ejemplo, una lámina de polietileno. En Europa se consiguen en el mercado las siguientes membranas protectoras para raíces:

*Membranas polímero-elastómero-bituminosas* que son elaboradas de una mezcla de bitumen con materias sintéticas y generalmente resistentes a las raíces.

*Membranas de PVC* (según las normas alemanas DIN 16938, 16730, 16735) de PVC blando y que generalmente no son resistentes al bitumen, polystrol y a productos aceitosos protectores de madera. Para evitar un "ablandamiento" (que puede llevar a la descomposición del material), deberá separarse la membrana de PVC de los materiales bituminosos con un material sintético o un manta de fibra de vidrio (mínimo 200g/m<sup>2</sup>) o una lámina de polietileno de por lo menos 0,2 mm de espesor.

Para techos verdes es recomendable reforzar la trama colocando una membrana de techo de PVC como la que por ejemplo se usa para toldo de camiones ("lona"), ya que éstas, por el refuerzo entramado que poseen, son muy resistentes a las averías.

*Membranas de polietileno* que son de polietileno clorado según norma alemana DIN 16737. Se caracterizan por tener una muy alta resistencia, pero no se pueden hacer uniones resistentes a las raíces en obra. En los promontorios deben preverse solapes muy grandes para impedir el crecimiento de las raíces a través de ellos.

*Membranas de tela con revestimiento de polyolefina* que son bien aceptados desde el punto de vista ecológico, ya que están libres de halógenos, ablandadores y cloro. Pero son más caras que las membranas revestidas de PVC y la soldadura es más dificultosa. El trabajo sólo deberían llevarlo a cabo empresas especializadas con experiencia.

*Membranas de etileno copolimerizado bituminoso (ECB)* que son compatibles con el bitumen y de buena trabajabilidad.

*Membranas EPDM* que tienen etileno, propileno, terpolímero y caucho y se caracterizan por su alta elasticidad. Lograr uniones herméticas no es siempre sencillo.

*Sellados fluidos* con poliuretano o con resinas polyester que se colocan en estado líquido y que con un suficiente espesor son resistentes a las raíces.

El material más seguro y más económico para una membrana protectora de raíces en Europa es un tejido de polyester revestido en PVC. Se recomiendan espesores de 2 mm. En América Latina este material es muy caro, por ser importado. Pero allí se produce un material de menor espesor, como el que se utiliza para toldo de camiones, con espesores de 0,8 o 1,0 mm, ver capítulo 11. Como la lámina de PVC es relativamente fina, el material no se deja soldar fácilmente a mano con aparatos de aire caliente. Es



más fácil, soldar este material en fábrica con soldadores de alta frecuencia.

Una primera alternativa sería utilizar planchas negras de polietileno de alta densidad, que se consiguen de 6 m de ancho a buen precio (ver cap. 11). Pero son relativamente rígidas, por lo que sólo se pueden colocar sobre superficies planas y generan problemas al levantarlas en los pretilos y para los recortes, ya que son difíciles para soldar en el lugar. Pero las membranas planas se pueden unir en grandes superficies en fábrica con soldadura automática.

Otra alternativa, especialmente para superficies no planas, es la utilización de membranas soldadas de bitumen. Como éstas no son resistentes a las raíces, deberá agregarse por encima, por ejemplo, una fina lámina de polietileno negro. No son recomendables estas láminas de polietileno solas como membrana protectora de raíces, porque se pueden dañar muy fácilmente. Si igual fueran utilizadas, se deberá, en todos los casos, colocar por debajo y por encima una protección mecánica, como una capa de arena o un grueso fieltro.

## Protección contra daños mecánicos

Cuando la base para la membrana de protección para raíces es rugosa o desigual, o deben absorberse movimientos específicos del material, deberá colocarse bajo la membrana protectora de raíces un fieltro o una capa de arena.

Este tipo de protección adicional no es necesaria generalmente para membranas impermeables de techo de fibrado reforzado de 2 mm de espesor, que sirven al mismo tiempo como protección contra las perforaciones de raíces.

## Capa de drenaje

La capa de drenaje tiene como cometido, tanto dirigir el agua excedente, como, hasta cierto grado, almacenar agua. Sobre todo son aptos los materiales minerales porosos y livianos, granos gruesos, arcilla expandida, pizarra expandida, lava expandida, piedra pómez y materiales reciclados de escoria y ladrillo.

Para alcanzar el efecto de almacenaje deseado, de 15-25 en porcentaje de volumen, los materiales deben ser preponderantemente de poros abiertos. Por ese motivo se utiliza, por ejemplo, arcilla expandida principalmente en situación fraccionada.

En techos planos y en los muy poco inclinados, la capa de drenaje se cubre con un fieltro o tela. Éste impide que el sustrato se haga lodo y se pase a la capa de drenaje.

En techos con fuerte pendiente esta medida es generalmente innecesaria, ya que en este caso se fortalece el efecto de drenaje a través de la inclinación. Además, la mezcla del sustrato con el material de drenaje incluso tiene ventajas: el peligro de que el sustrato se deslice de la capa de drenaje se ve esencialmente disminuido y para las raíces resulta un medio húmedo compensado. Con la separación del sustrato y la capa de drenaje mediante un fieltro cuelgan a veces las raíces crecidas a través "en agua" y otras veces como raíces aéreas en lo seco. Ambas situaciones son, para muchas plantas, desventajosas porque inhiben el crecimiento, especialmente de los pastos.



Edificio experimental con muros de tierra y techo enjardinado, Universidad de Kassel (Alemania)



Edificio experimental con muros de tierra y techo enjardinado, Universidad de Kassel (Alemania)



La cubierta permeable de chapas onduladas de fibrocemento..



. fue sustituida por un techo verde en Kaufungen (Alemania)



# Sustrato

A la capa de soporte de la vegetación, donde se produce el trabajo de las raíces, se le llama sustrato. Sirve como materia nutriente, como almacenaje de agua y debe tener suficiente volumen de aire en poros para poder así ofrecerle a las raíces la posibilidad de anclaje. El sustrato y la vegetación tienen que armonizar entre sí. Para verdeados extensivos con césped pobre, hierbas silvestres y Sedum, es conveniente que el sustrato no contenga demasiado humus. Si para esto se utiliza tierra de suelo, éste no tiene que ser muy arcilloso. En general deberá ser empobrecido con arena. No debería tener más de 20% de arcilla y limo (= granulometría hasta 0,06 mm). Es recomendable, empobrecer la tierra madre con 25 hasta 75 vol.% de minerales livianos de granulometría 0-16 mm. Para esto se adaptan bien, por ejemplo, piedra pómez, lava, pizarra expandida, arcilla expandida partida y material reciclado de ladrillos porosos de arcilla y piedra pómez.

En la urbanización de techos de pasto Laher Wiesen en Hannover es notorio que el sustrato contenía nutrientes en demasía. Los pastos crecieron hasta llegar a 70 cm de altura y fueron castigados por el viento, se secaron rápidamente y se tupió en parte tanto, que allí abajo ya no era posible ningún crecimiento posterior (fig. 4.7). Pero después del rastrillado la vegetación se regeneró lentamente de nuevo.

En el techo de pasto que se muestra en la figura 4.8 en Bariloche (Argentina), se cometió el mismo error: se utilizó demasiado sustrato y con mucho humus.

El sustrato debe colocarse para una vegetación de césped pobre, para que surja una pradera de pastos silvestres cuyo colchón no llegue más alto que

10-20 cm. Sin embargo, puntos de florecimiento aislados pueden llegar a 30-50 cm de altura.

En el capítulo 6 se describen los elementos de retención, que impiden el deslizamiento del sustrato en los techos inclinados.

## Vegetación

### Criterios de elección

Para la elección de las plantas son decisivos diferentes factores, sobre todo:

- espesor del sustrato y su efectividad de almacenaje de agua
- inclinación del techo (cuanto más empinado es el techo, mayor tiene que ser su efectividad de almacenaje de agua)
- exposición al viento (hace que aumente la evaporación)
- orientación (los techos que están inclinados hacia el sol se secan más rápido)
- sombra
- cuantía de precipitaciones (¡tener en cuenta los sectores donde la lluvia no llega!)

Pero esencialmente veremos a cuáles de las siguientes funciones o repercusiones se le asignará respectivamente la máxima importancia:

- efecto de aislación térmica
- efecto de enfriamiento en verano
- aislación acústica
- gasto de mantenimiento
- aspecto óptico

Con un techo enjardinado no sólo deben obtenerse beneficios estéticos, sino sobre



4.7 Urbanización de techos de césped Laher Wiesen, Hannover (Alemania)

4.8 Vivienda en Bariloche (Argentina)

todo efectos físico-constructivos (como por ejemplo aislamiento térmico, protección del calor en verano y protección acústica), efectos ecológicos (sostén de lluvia y limpieza del aire), así como efectos constructivos (por ejemplo protección de la construcción del techo contra radiación UV y variaciones extremas de temperatura). Entonces debería aspirarse a un colchón de vegetación lo más denso posible y aproximadamente de igual altura. Esto se consigue fácil y económicamente con pastos silvestres o, de otro modo, con una mezcla de pastos y hierbas silvestres. Para la elección de la vegetación son decisivos los siguientes criterios:

- resistencia a las sequías
- resistencia a las heladas (si aparecen heladas)
- altura de crecimiento 10-20 cm
- puntos de floración no mayores a 40 cm
- formación densa del colchón con fuerte desarrollo en altura y crecimiento disminuido a lo ancho.
- no condicionada a la calidad del suelo

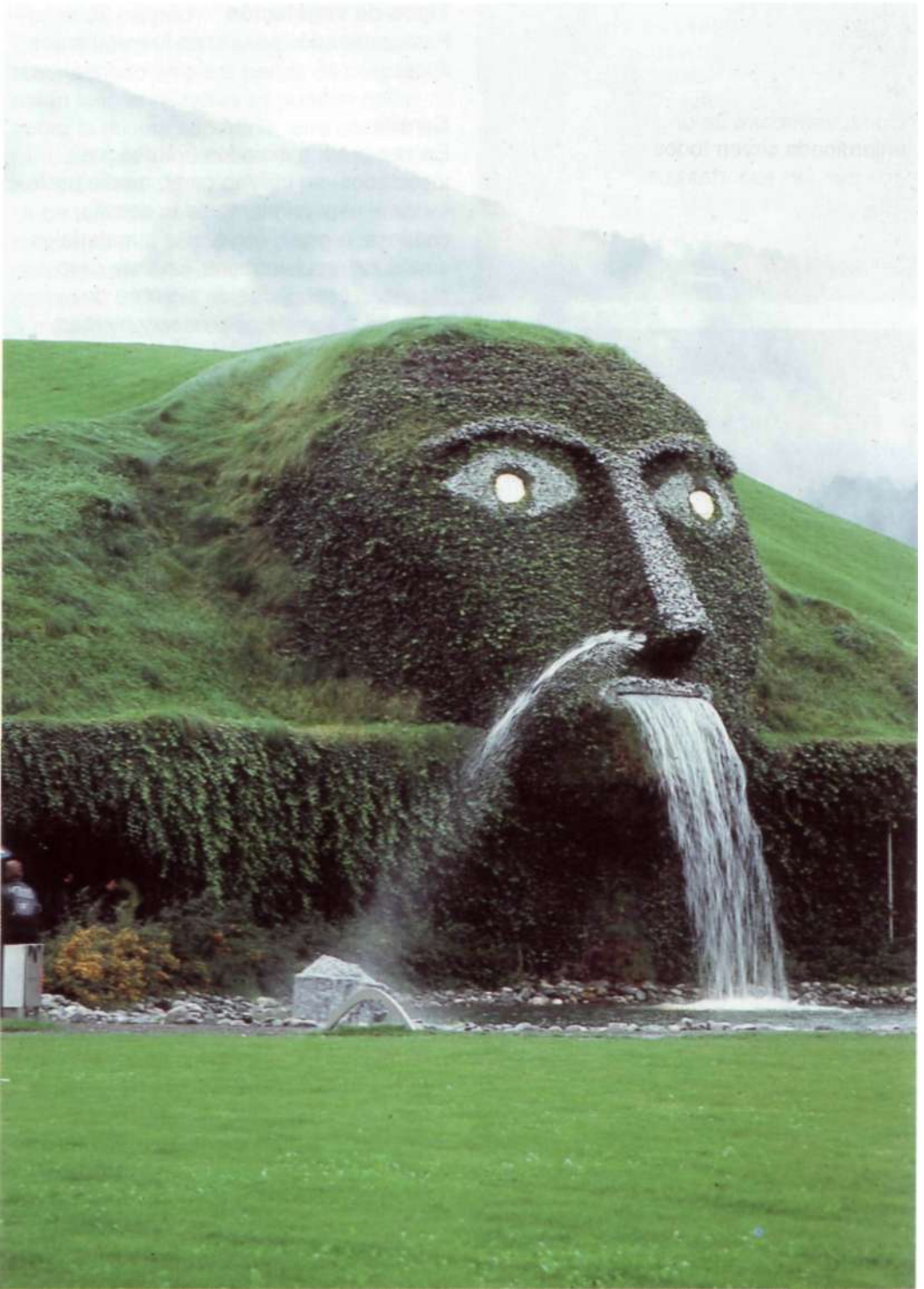




Hotel Rogner, Bad Blumau (Austria) (Arquitecto: F. Hundertwasser)



Acceso del Hotel



Museo del cristal Swarovski en Wattens (Austria) (Arquitecto: André Heller)





4.9, 4.10 Montaje de césped en rollo



4.11 Techo verde con densa vegetación de pastos silvestres, Urbanización ecológica, Kassel (Alemania)

## Tipos de vegetación

Para verdeados se utilizan los siguientes tipos:

### *Semilla*

En sembrados mojados (verdeados inyectados) se utilizan como medio para evitar el esparcimiento de la semilla, celulosa, alginat, con arcilla o materiales sintéticos emulsionados. En este caso alcanzan cantidades de siembra de  $2 \text{ g/m}^2$ . La semilla de pastos y hierbas silvestres tiene generalmente una capacidad de germinar y una pureza de clase disminuidas, pero las plantas son muchas veces más resistentes. En sembrados en seco se necesitan normalmente 4 a 8 g de semillas por  $\text{m}^2$ .

### *Gajos*

Los tipos de Sedum se cultivan generalmente con trozos de retoños (partes de la planta cortadas). Prenden fácilmente y también pueden soportar períodos de sequía. Para el cultivo por gajos se necesitan alrededor de 40 retoños por cada  $\text{m}^2$  (30-50  $\text{g/m}^2$ ).

### *Césped listo (césped en rollo prefabricado)*

Existen empresas en muchos países que producen césped en rollo. En Alemania la medida de los rollos es de 0,50 x 1,00 m; el espesor del sustrato asciende aproximadamente a 2 cm (fig. 4.9, 4.10).

### *Mantas de vegetación*

Las mantas de vegetación se arman con fieltro, redes o mallas de hilo trenzado. Contienen, según las exigencias, diferentes mezclas de musgo, suculentas, pastos, hierbas y plantas de bulbo. El espesor de sustrato asciende de 1,5 a 3,5 cm y las dimensiones máximas son de 1,00 x 1,00 m.



### *Panes de césped*

En techos con fuerte pendiente puede tener sentido emplear panes de césped. Si están bien enraizados se pueden apilar sobre la misma superficie, uno encima del otro, sin que se resbalen. Más al respecto se verá en el capítulo 5.

Debe tenerse en cuenta, que la vegetación resistente a la sequía de pastos densamente crecidos, antes habían sido cortados. La tierra debe alcanzar cerca de 5 a 8 cm y estar bien enraizada.

### **Pastos silvestres y vegetación de pasto-hierba para altura de sustrato de 12 a 18 cm**

Con los techos de pasto se logran los más densos colchones de vegetación con la mayor superficie de hoja verde y por lo tanto los mejores efectos de aislación térmica, de protección al calor del verano y limpieza del aire (ver cap. 3).

Demostraron su valía las especies:

- Festuca rubra genuina,
- Festuca rubra commutata,
- Festuca ovina,
- Festuca glauca,
- Festuca scorparia,
- Poa pratensis,
- Poa pratensis angustifolia,
- Agrostis tenuis (en pequeñas añadiduras),
- Carex digitata,
- Bromus erectus,
- Carex flacca (en pequeñas cantidades),
- Carex humilis,
- Stipa pennata,
- Stipa ucrainica

### **Mezcla de pastos silvestres para colchón de pasto denso**

- 25% Festuca rubra genuina
- 20% Festuca rubra commutata
- 20% Festuca ovina
- 30% Poa pratensis
- 5% Agrostis tenuis

#### 4.12 Mezcla de pastos silvestres (según Minke)

En la figura 4.12 está representada una sencilla mezcla con variedad de tipos empleados, del autor, que forma un denso colchón de vegetación. En esta situación es ventajoso, si en los bordes del techo y en la cumbre se siembra o se planta tomillo (*Thymus pulegioides*, *Thymus serpyllum*), porque es más estable, se las arregla con menos humedad y además en invierno forma un denso colchón.

En general los sustratos de 14 a 16 cm son suficientes. También pueden alcanzar 10 a 12 cm para techos con una pequeña inclinación de 5° a 10° y renunciando a un especialmente denso colchón de plantas. Si se desea un denso colchón de vegetación y la inclinación del techo es de 15° a 30° debería elegirse una altura de sustrato de por lo menos 15 cm y un máximo de 18 cm.

#### **Elección de plantas resistentes a las sequías para altura de sustrato de 5 a 8cm**

##### **Suculentas:**

- Sedum acre
- Sedum álbum
- Sedum anacampseros
- Sedum cauticola
- Sedum cyaneum
- Sedum ewersii
- Sedum floriferum
- Sedum hispanicum
- Sedum hybridum
- Sedum kamtschaticum
- Sedum krajinae
- Sedum lydium
- Sedum refelexum
- Sedum selskianum
- Sedum sexangulare
- Sedum spurium
- Sempervivella sedoides
- Sempervivum arachnoideum
- Sempervivum montanum
- Sempervivum tectorum

##### **Liliáceas:**

- Allium atropurpureum
- Allium flavum var. minus
- Allium montanum
- Allium oreophilum
- Allium schoenoprasum

##### **Gramíneas:**

- Bromus tectorum
- Carex humilis
- Carex ornithopoda
- Festuca punctoria

#### **Vegetación de Sedum y de Sedum, hierba y pasto para una altura de sustrato de 5 a 8 cm**

Si por motivos de peso sólo son posibles los pequeños espesores de sustrato, se deberá renunciar a un denso y alto colchón de vegetación.

Para espesores de sustrato de 5 a 8 cm entran en la duda principalmente los tipos de Sedum, y en parte también los tipos de Sempervivum. Para estos casos existe una gran variedad de las cuales algunas están representadas en la figura 4.13. Estas pueden plantarse como planta vivaz. Sin embargo es mucho más económico sembrar brotes en seco o mezclarlo con sustrato y esparcirlo en húmedo o inyectarlo.

Los tipos de Sedum y de Sempervivum pertenecen a las suculentas, que almacenan agua en los brotes y en las hojas y pueden reducir fuertemente la evaporación. Se adaptan por ese motivo especialmente a lugares soleados. En la naturaleza emergen en comunidades de pastos secos con similar especialización. Pero con permanente humedad dominan entonces a los pastos.

El cebollino (*Allium schoenoprasum*) es sembrado sobre todo por su vivaz floración rosa-violeta, que desde la primavera al otoño revive el techo verde, pero al marchitarse a partir de otoño le dan al techo verde una grisácea nota de desolación. Hay que tener en cuenta, que el cebollino domina fácilmente y suplanta a los pastos.

### **Vegetación de musgo y Sedum para altura de sustrato de 3 a 5 cm**

Para techos livianos de grandes luces, como por ejemplo los que fueron construidos para naves de una fábrica y lugares deportivos, puede ser necesario, mantener lo más bajo posible el peso del enjardinado. Entonces entran en general en juego sólo las mantas prefabricadas de vegetación, que principalmente constan de musgos y Sedum. Miden de 3 a 4 cm y pesan, en estado de sembrado acuoso, cerca de 30 a 40 kg/m<sup>2</sup>.

Como vegetación, se adaptan los tipos resistentes a las sequías, aquellos que caen en un "sueño de sequía" durante los largos períodos secos. Los musgos prefieren sitios de sombra y humedad. En superficies fuertemente soleadas se utilizan primordialmente tipos de Sedum. Los tipos de Sedum que son apropiados están representados en la figura 4.13 y los de musgo en la figura 4.14.

### **Tipos de musgos para alturas de sustrato de 3 a 5 cm**

- *Ceratodon purpurelis*
  - *Campothecium sericeum*
  - *Syntrichia ruralis*
  - *Schistidium apocarpum*
  - *Barbula convoluta*
  - *Brachythecium rutabuum*
  - *Bryum argenteum*
  - *Hypnum cypressi* forme
- 4.14 Vegetación de musgo y Sedum para espesores de sustrato de 3 a 5 cm (según el Instituto Federal para la Construcción NRW 1998).



4.15 Vivienda en Punta del Este - Maldonado (Uruguay)

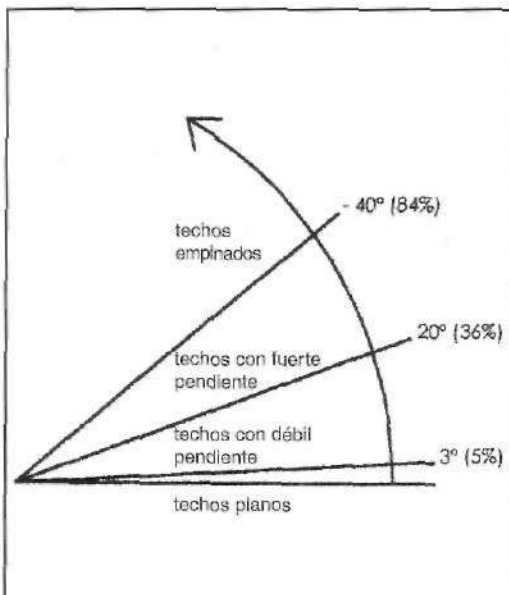
# 5. Sistemas de techos verdes

## Generalidades

Una forma simple de diferenciar los sistemas de techos verdes en principio sería por su inclinación.

Para pendientes de hasta 3° o sea del 5%, se habla de techos planos. Los techos verdes de 3° a 20° o respectivamente con un 5% hasta un 35% de pendiente, se denominan techos de leve pendiente y los techos verdes de 20° a 40° o sea con un 36% hasta un 84% de pendiente, se los califica como de fuerte pendiente. Para inclinaciones a partir de 40° es decir 84% de pendiente, se adoptó la calificación de techo empinado (ver fig. 5.1).

En el capítulo 4 se comentó la correspondiente diferenciación de la estructura físico-constructiva según techo frío y techo caliente. También fue descripta en el mismo capítulo una caracterización de tipos de vegetación.



5.1 División de los techos verdes según su inclinación

## Enjardinado de techo plano

Los techos planos no enjardinados son fácilmente propensos a daños. En Alemania, según el 2° informe de daños en la construcción del Ministerio Federal para Ordenamiento de Espacios, Construcción y Urbanismo, ya se presentaron los primeros daños después de 5 años de construidos, en el 80% de los techos planos. Las reparaciones se presentan promedialmente, según Schild (1986), cada 7 años.

En los techos planos, el enjardinado otorga una notable protección contra las perjudiciales influencias climáticas y alarga por lo tanto considerablemente la vida útil del techo (ver cap. 2 y 11).

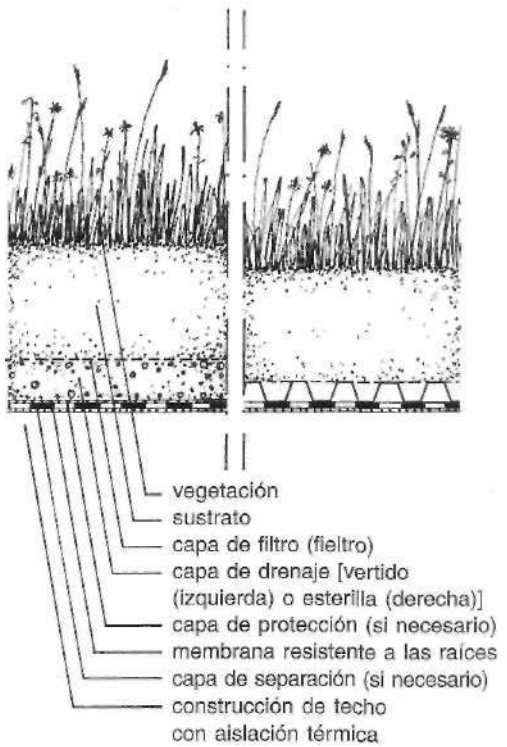
En techos planos enjardinados, la vegetación está más expuesta a las fuertes fluctuaciones de humedad, que en los techos verdes inclinados. De modo que existe el peligro de que en el caso de pequeños espesores de sustrato, la tierra sufra con el estancamiento de agua la falta de oxígeno y se produzca fácilmente acidez en el medio. Cuanto más intensas son las fluctuaciones de humedad de la tierra, más pobre en variedades y menos vital es la capa de vegetación.

Para prevenir el secado, los sistemas de enjardinado para techos planos prevén por ese motivo una capa de drenaje especial para la desviación del agua sobrante y también un "riego de agua acumulada" artificial. La capa de drenaje es separada del sustrato a través de un fieltro especial. Esta ejecución es esencialmente más costosa que la solución que se describe en la siguiente página para techos de leve inclinación. Además esta solución no es siempre buena para el crecimiento de las

plantas, ya que éstas, con raíces que crecen a través del fieltro, están fuertemente exigidas: las raíces están a veces en el agua como en la hidroponía, o como raíces aéreas en lo seco. Los enjardinados de techos planos habituales tienen una construcción costosa en capas, que consta de los siguientes componentes (ver fig. 5.2):

- impermeabilización
- capa de protección
- capa de drenaje
- capa de filtrado
- sustrato
- vegetación

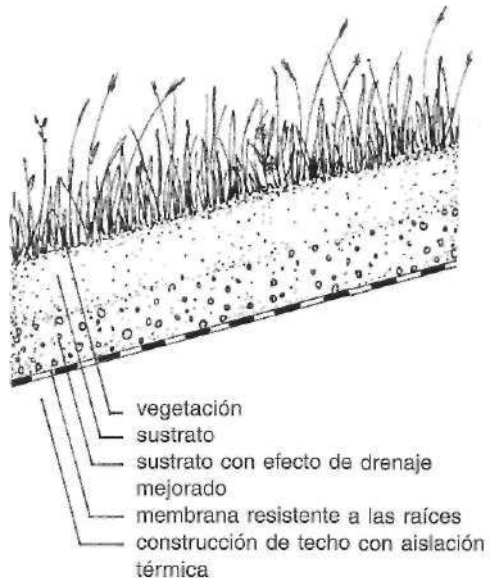
Estructuras de este tipo, que se encuentran a menudo en edificios de Bancos en Alemania, significan para la construcción de techo plano, un peso adicional de 100 hasta 300 kg/m<sup>2</sup> y considerables incrementos de costo. Estas soluciones son demasiado caras para construcciones sociales y de vivienda habituales, depósitos y fábricas. Para ahorrar costos y gastos de mantenimiento se recomienda recurrir a estructuras más simples, como las que son posibles en los casos de techos con leve inclinación y que serán descritas en el siguiente capítulo.



5.2 Construcción en capas de enjardinados para techos planos

## Techos de leve inclinación

A los techos con inclinaciones entre 3° y 20° (5% y 36%) se los denomina como de leve inclinación. Esta pendiente del techo posibilita una fácil y muy económica construcción del techo verde. Los techos se pueden ejecutar como "techos de una sola capa" (ver fig. 5.3), es decir, no va a ser necesaria ninguna capa de drenaje separada a través de un fieltro. El sustrato tiene al mismo tiempo el efecto de almacenar agua y el de desviar el agua



5.3 Enjardinado de techo inclinado con una sola capa



sobranante. Para esto se le debería agregar al sustrato partículas de grano grueso (ver cap. 4), mejor si son de material mineral poroso, como por ejemplo piedra pómez, escoria, pizarra expandida o arcilla expandida. Además, estas partículas tienen los siguientes efectos positivos: reducen el peso del sustrato, aumentan su efecto de aislación térmica, facilitan la respiración de las raíces y, a causa de su valor de pH, hacen efecto de tope contra la lluvia acida.

Para inclinaciones entre 3° y 20° generalmente se puede renunciar a colocar una seguridad contra el deslizamiento del sustrato (ver cap. 6).

## Techos de fuerte inclinación

Techos de fuerte inclinación se denomina a los techos verdes que tienen una pendiente de aproximadamente 20° a 40° (36% a 84%) y son los que deben estar asegurados contra el deslizamiento del sustrato.

La estructura se asemeja a la de los techos verdes de leve inclinación, no obstante son necesarios diferentes dispositivos de seguridad contra el



5.4 Casa de panes de turba (Islandia)

deslizamiento, según la inclinación del techo y la altura del sustrato. En el capítulo 6 se describirán estos de a uno.

## Techos empinados

El término empinado es utilizado para techos cuya inclinación es superior a 40° (84%). Para ellos no son suficientes, como protección contra deslizamiento del sustrato, aquellos medios de ayuda que están descritos en el capítulo 6, como ser umbrales de deslizamiento, colchonetas antideslizantes u otros.

El modo más sencillo de fabricar un techo empinado enjardinado, lo muestra el tradicional techo de terrones de turba de Islandia (fig. 1.1 y 5.4), que se mencionó en el capítulo 1: sobre la construcción del techo se iban apilando panes de césped y terrones de turba respectivamente de 8 a 10cm de espesor, bien enraizados unos sobre otros como en un muro de ladrillos. Como un espesor de sustrato de 10 cm no era suficiente y el sustrato suelto se deslizaría, se colocaban dos capas de panes de césped una encima de la otra, es decir, la de más abajo con el pasto para abajo que luego sirve como sustrato para la de arriba.

Este método es especialmente adecuado para autoconstrucción. Para minimizar posteriores asentamientos es importante prestar atención a que los panes queden bien trabados entre sí.

Un método muy fácil de enverdecer techos empinados con musgo consiste en tender al principio un rollo de césped con el pasto hacia abajo sobre la impermeabilización del techo y sobre esto colocar una colchoneta de vegetación de musgo. Para evitar que el césped en rollo se deslice, puede, por ejemplo, atarse a la cumbre y además sostenerse a través de cuerdas



tensadas horizontales. Estas últimas sirven al mismo tiempo para la estabilidad contra la succión del viento.

En el Laboratorio de Investigación para Construcciones Experimentales (FEB) de la Universidad de Kassel, desde 1976, se desarrollaron y testearon diferentes métodos de verdeos para techo empinado: en la construcción experimental del FEB

que se muestra en la fig. 5.5 se pusieron viejos neumáticos sobre la impermeabilización del techo y luego se rellenaron con tierra y panes de césped. Después de un ciclo de vegetación, la construcción se cubrió con una densa y verde piel (fig. 5.6). El techo empinado que se representa en la figura 5.7 de una construcción de testeo del FEB se verdeó de 3 diferentes modos:



A la derecha de la imagen se ven los contenedores de plantas desarrollados en el FEB en 1976, que como las tejas de techo posibilitan un revestimiento impermeable (fig. 5.8) y se usan aparte de eso rellenos con 9 litros de sustrato como recipiente para las plantas. A través del solape lateral de 40 mm de ancho, la leve curvatura y a través de la perfilera especial se pueden por lo tanto cubrir ya sea con formas planas como también de barril o de cúpula.

En la misma construcción fueron testeadas unas bolsas de polietileno a modo de red con plantas, rellenas de sustrato (fig. 5.9). Más acerca de esto en Minke(1985).



Para la exposición federal de jardines en Berlín en el año 1985, se enjardinó un techo con una inclinación de 45° con colchonetas prefabricadas de plantas de 1 m de ancho y hasta de 20m de largo (fig. 5.10). Fueron armadas doblemente con colchonetas antideslizantes y un fieltro o de otro modo con membranas de tejido reticular. El montaje se efectuó con una técnica especial: las colchonetas prefabricadas fueron colocadas sobre un rollo giratorio y desde la grúa se desenrollaban sobre el techo (fig. 5.11). También el verdeado del techo de pasto que se muestra en la figura 5.12 con 45° de inclinación, fue sólo posible a través de colchonetas de plantas doblemente armadas, que fueron sujetadas a la cumbrera.



5.7 Construcción de prueba de la Universidad de Kassel (Alemania) 1977

5.8 "ladrillo-contenedor de plantas"

5.9 Bolsas para plantas llenas de sustrato



5.10, 5.11 (izquierda y derecha arriba)  
Enjardinado de techo empinado en la Exposición  
Federal de Jardines en Berlín (Alemania) 1985

5.12 Techo de césped con 45° de inclinación,  
Siegen-Oberscheiden (Alemania)







5.13 Cochera enjardinada



5.14 Garaje con techo de césped

## Verdeados sencillos

Los garages y las cocheras se pueden verdear en forma natural más fácil y más económicamente que los techos de los grandes edificios. Esto es así, sobre todo porque las membranas de protección para las raíces como las láminas de PE, PEAD o PVC se pueden utilizar en el ancho total, sin costura. Éstas se fabrican en anchos de 6 m e incluso de 8 m. Pero las láminas de polietileno de alta densidad (PEAD) son muy rígidas y es dificultoso doblarlas en los bordes.

Tampoco se logra una unión segura en obra. Hay que tener en cuenta, que no tienen ninguna armazón de tejido y por este motivo se pueden dañar fácilmente. Las láminas de PVC deberían ser como mínimo de 0,8 mm de espesor, mejor aun de 1mm. Como protección para una base

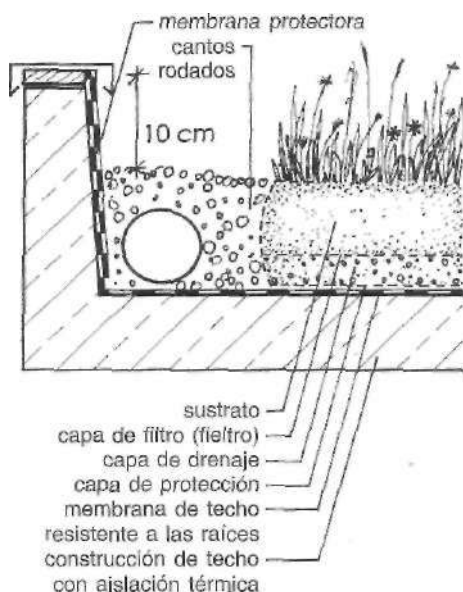
rugosa, habría que colocar previamente un fieltro o manta de cerca de 300 g/m<sup>2</sup>.

Hay que tener precaución al transitar sobre la membrana de techo extendida para que no se dañe.

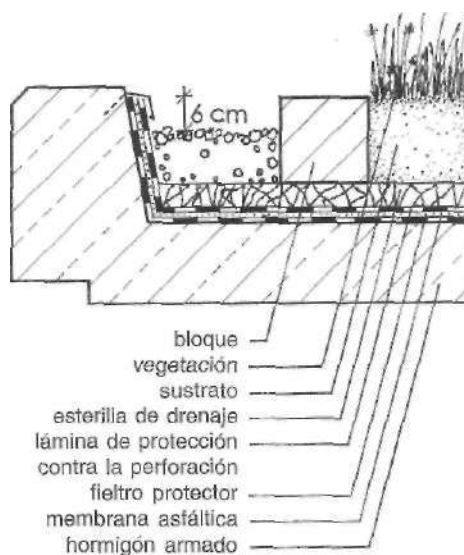
Es ventajoso colocar una colchoneta de drenaje sobre la membrana de techo, que no sólo sirve como capa de protección, sino que también al mismo tiempo puede almacenar agua. Para esta finalidad existen en Europa colchonetas económicas de espuma plástica reciclada.

También son admisibles colchonetas de fieltro más gruesas y sobre ellas una capa de partículas minerales partidas, como por ejemplo arcilla expandida, lava expandida, escoria o piedra pómez.

Las figuras 5.15 y 5.16 muestran dos posibilidades para su formación.



5.15



5.16

5.15, 5.16 Formación de borde de techo en enjardinados de garajes con techo plano

La construcción en capas para un posterior verdeado depende de la capacidad de carga del techo, del tipo de impermeabilización, de la inclinación del techo y de la altura de las cantoneras.

Si el techo del garaje tiene menos de 3% de inclinación, es razonable colocar una capa de drenaje. Para cantoneras bajas y en el caso de inclinaciones por debajo del 3% sirve colocar, delante del borde más bajo, una faja de grava redondeada hasta el desagüe del techo para el desvío del agua. Si la capa de sustrato es más alta que la cantonera, se puede instalar al final un rolo de madera, un ángulo o también de otro modo ladrillos o bloques de hormigón, insertados como delimitación (verfig. 5.15 y 5.16). El fieltro de protección sobre la capa de drenaje deberá en este caso llevarse hasta arriba, para evitar un enlodado de la capa de grava con tierra.

En el borde, la impermeabilización del techo debería llevarse hacia arriba y ser protegida contra la luz UV. Para aumentar la vida útil, es aconsejable un recubrimiento, aun cuando las láminas sean resistentes a las radiaciones UV. También hay que tener en cuenta, que las láminas de PVC no deben entrar en contacto con el bitumen.

Si las cocheras y los garages son un proyecto nuevo, entonces es razonable prever para el techo verde una inclinación de 5 a 15% y considerar una carga de  $1,5 \text{ kN/m}^2$  ( $150 \text{ kg/m}^2$ ). Luego se puede implantar una capa de 12 a 16 cm de sustrato liviano, sobre el cual puede crecer un denso colchón vegetal de pastos y hierbas silvestres.

Un sistema de verdeado especialmente económico propuesto por el autor, se representa en las figuras 5.17 a 5.19. Se

erigió sobre el techo de un edificio prototipo para el movimiento "Sin Tierra" (MST) en Viamáo, Rio Grande do Sul (Brasil). Como allí los tirantes y tablas de madera son relativamente caros, se utilizaron, para la construcción del techo, viejos postes de línea telefónica. En lugar de un entablonado de techo fueron colocadas cañas de bambú. Por encima se cubrió con una lámina negra de polietileno de 400 micrómetros de espesor.

Para impedir que ésta se dañe con el tránsito, fue cubierta con 3 a 4 cm de arena. Sobre la capa de arena se colocó la verdadera impermeabilización del techo, una fuerte lámina de 0,8 mm de polietileno de alta densidad (PEAD), de dos bandas que fue soldada en el taller en una sola superficie. Encima de esto se colocaron los panes de césped sobre un sustrato de tierra madre y arena. Ambas capas sumaron juntas un espesor de cerca de 16 cm (ver detalles en 6.12 y 6.13). La inclinación del techo de cerca de 5° significó una óptima solución: por un lado con esa pequeña inclinación nada se podía resbalar sobre la lámina, y por otro, no se necesita para esa inclinación ninguna capa de drenaje para la desviación del agua de lluvia.



5.17 a 5.19  
Realización de un techo verde  
de bajo costo, Viamáo (Brasil)





5.20 Hiedra

5.22 Ficus pumila

5.21 Vid silvestre

## Enjardinado con plantas trepadoras

En determinados casos en los cuales por motivos constructivos no es posible echar tierra sobre el techo, es razonable (bajo ciertas circunstancias) un enjardinado con plantas trepadoras. Para esto se adapta sobre todo la hiedra (*Hederá helix*), que siempre se mantiene verde, y que se afirma a la base con sus raíces adherentes (fig. 5.20). En zonas de climas cálidos también se adapta el *Ficus pumila*, que igualmente se afirma con sus raíces adherentes, pero sólo forma un colchón muy fino de vegetación (fig. 5.21). La figura 5.22 muestra una casa que está completamente cubierta con vid silvestre (*Parthenocissus tricuspidata*). Ésta asimismo se sostiene firmemente con sus órganos adherentes, pero pierde sus hojas en invierno. En otoño las hojas adquieren un color rojo vivo.



# 6. Detalles Constructivos

## Bordes y uniones de techos

Al colocar la impermeabilización o la protección contra la perforación de raíces, se debe prestar atención a que, en las uniones y terminaciones, las membranas sean alejadas de la capa por donde circula el agua. En las normas alemanas se indicaron los siguientes valores:

para terminaciones de las membranas en bordes de techo contra el pretil (fig. 6.1):

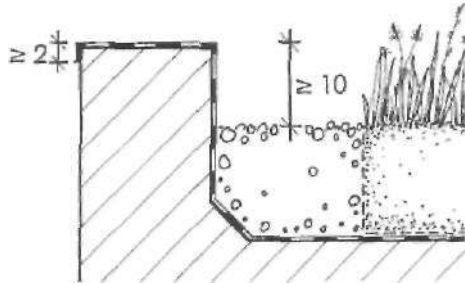
- hasta 5° de inclinación del techo: 10 cm
- por encima de 5° de inclinación del techo: 5 cm.

Para terminaciones de las membranas en fachadas u otras partes sobresalientes de la construcción:

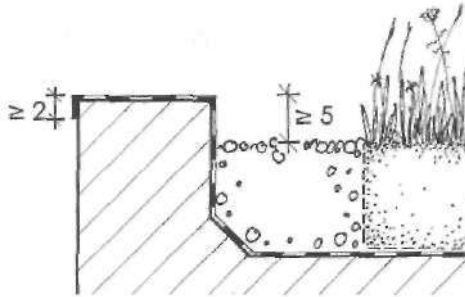
- hasta 5° de inclinación del techo: mínimo 15 cm (fig. 6.3, 6.4)
- por encima de 5° de inclinación del techo: mínimo 10 cm

Si lo que sobresale de la membrana hacia arriba en el borde es menor a 15 cm, deberá continuarse con la impermeabilización por encima del pretil, cubriéndolo y descendiendo del lado exterior como mínimo 2 cm (fig. 6.1).

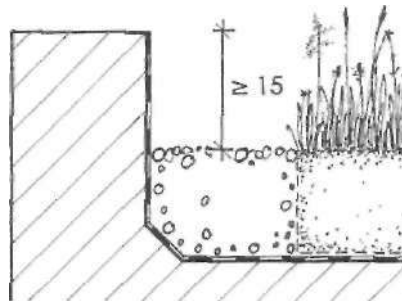
En el canalón, la capa impermeable en general se coloca de modo que siga hacia el lado exterior, para excluir la posibilidad de entrada de agua en la construcción en el caso de un eventual estancamiento de agua (por ejemplo con nieve o congelamiento) (fig. 6.2). La fijación del recubrimiento del borde del techo que atraviese la impermeabilización, deberá llevarse a cabo de modo que quede perfectamente sellada al pasaje de agua.



Pretil o frontón en techos con inclinaciones de hasta 5°

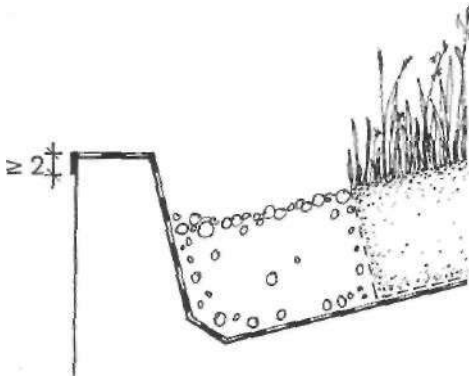


Pretil o frontón en techos con inclinaciones superior 5°

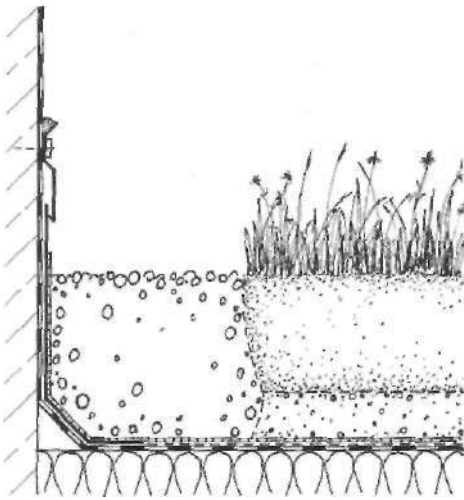
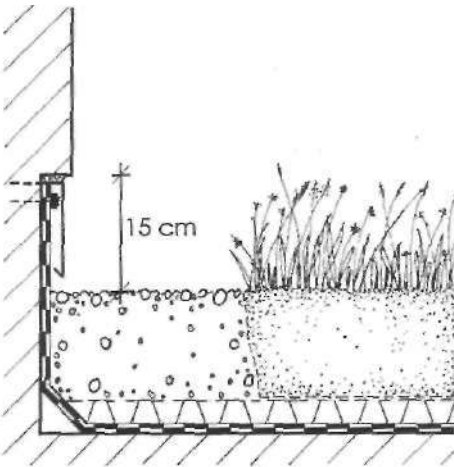


Encuentros de borde con ático ó muro

6.1 Conformación de la membrana de techo contra los bordes



6.2 Conformación de la membrana de techo contra el canalón



6.3, 6.4 Encuentros de borde con muros que continúan

Las reglas alemanas FLL (1996) enuncian que "en general se formará una franja de 50cm de ancho de grava o de entablado de madera para distanciar la superficie de vegetación de la parte de la construcción en cuestión". Para los bordes de techo se indica una medida de 25 a 50 cm. Estas franjas deberían servir contra la succión del viento y en las terminaciones de fachadas como "distancia de seguridad y protección contra salpicaduras". No obstante, hay que agregar que una densa vegetación otorga mucho mejor protección a la salpicadura que una franja de grava, entablado o enchapado.

Las experiencias prácticas indican, además, que en muchos techos verdes inclinados con aproximadamente 15 cm de espesor de sustrato, que fueron erigidos en 1978 sin la franja de grava, entablado o enchapado, no surgió ningún problema, de modo que esa medida no debería considerarse necesaria.

No obstante, por motivos técnicos de protección contra incendio por atravesamientos del techo y "partes de la construcción" con alturas de pretil < 80 cm, podría ser indispensable una franja libre de vegetación de 50 cm de ancho (ver cap. 3).

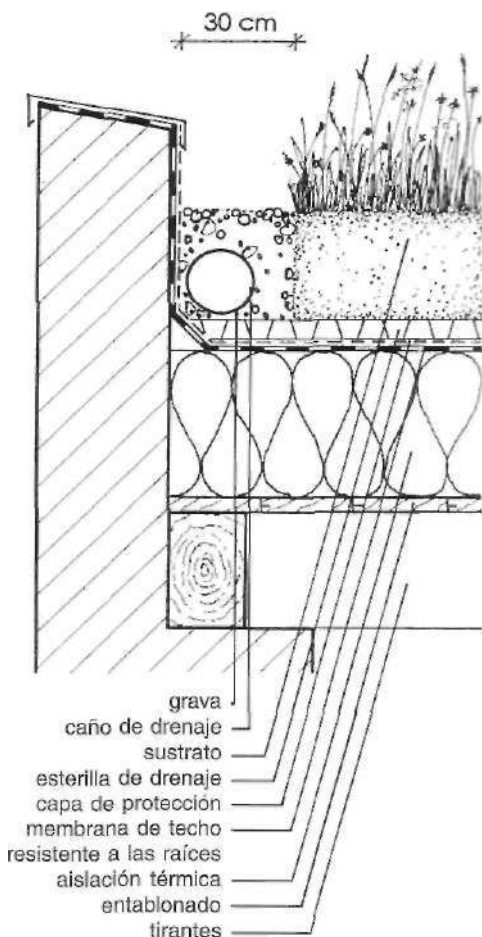
En techos inclinados para garantizar un desvío eficaz del agua de lluvia, es necesario en general dejar una franja de grava de cerca de 30 cm de ancho de drenaje adicional contra el desagüe. Aparte de esto es imprescindible colocar contra el canalón un fuerte perfil de borde que esté en condiciones de absorber la fuerza de empuje de la capa de tierra y transmitirla a la construcción del techo. Los típicos detalles de borde correspondientes a pretil y canalón están representados en las figuras 6.3 a 6.15. En

techos verdes tradicionales escandinavos, el agua se desviaba por debajo del perfil de borde y la madera de terminación (tablón) era sostenida por un gancho o tirafondo de madera (fig. 6.10). Esta solución también es elegida a menudo para techos verdes modernos en Escandinavia.

Para un diámetro suficiente de caño de bajada (80 a 100 mm) y largos de hasta 10m, no es necesario ningún desvío del desagüe. En todos los casos se pueden ahorrar las canaletas de techo.

Las perforaciones para chimeneas, caños de ventilación, lucarnas, antenas y similares deben ser ejecutadas muy cuidadosamente. Además, la impermeabilización del techo debería alejarse de la zona húmeda de la capa de vegetación, subiéndola 15 cm en los puntos de conexión, y la membrana deberá ser unida sin tensionar a las partes de la construcción que atraviesen la impermeabilización (fig. 6.16, 6.17).

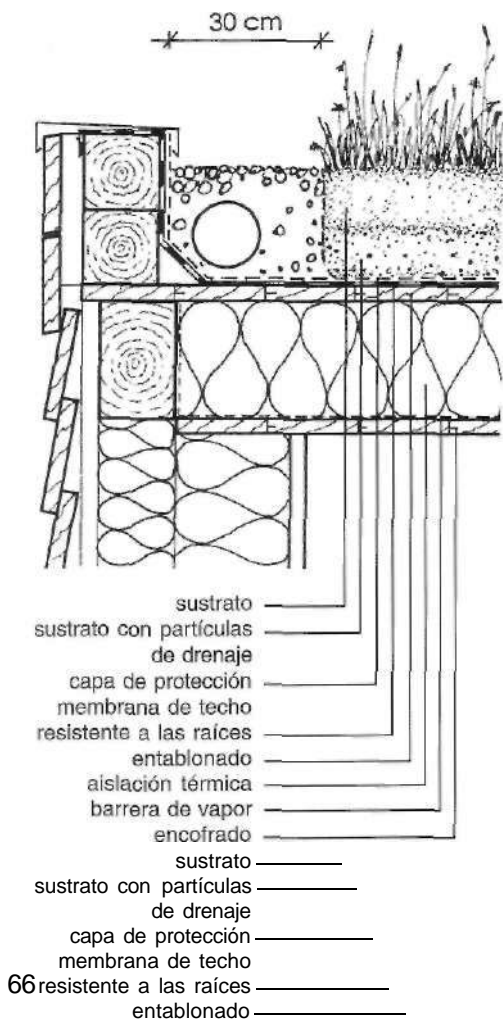
Aunque todas las membranas de techo resistentes a las rupturas de raíces sean estables frente a los rayos UV, igual no deberían quedar al descubierto. La solución más fácil consiste en colocar una segunda membrana como protección a los rayos UV sobre la membrana descubierta. Algunas empresas ofrecen para este fin chapas revestidas de plástico, sobre las que la membrana de techo se puede soldar. Para pequeñas terminaciones de las membranas en el borde también es posible hacerlo, cubriendo esa zona con grava gruesa (fig. 6.9, 6.13, 6.15). Para chimeneas de caño que deben atravesar la impermeabilización, existen en el mercado alemán piezas especiales como cuplas de unión que se sueldan junto con la impermeabilización del techo. También para esquinas interiores y exteriores existe disponibilidad de piezas especiales. Los desagües interiores deberían en lo



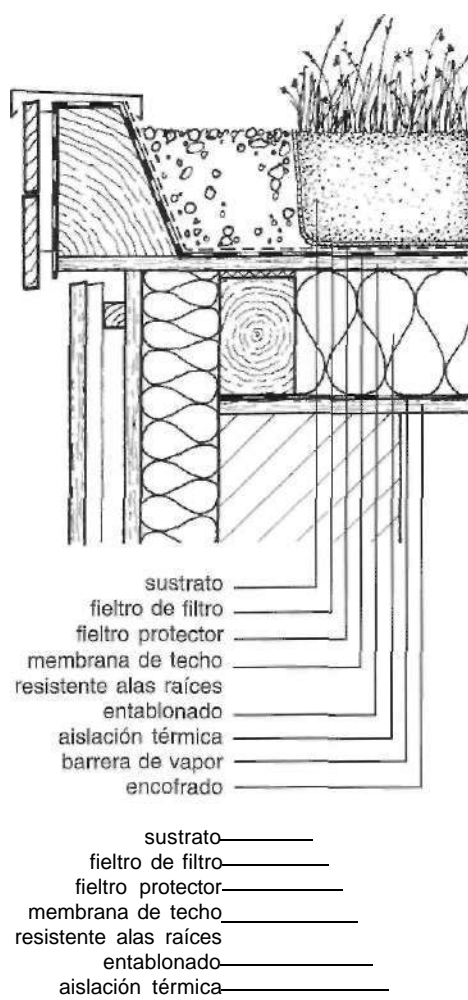
6.5 Conformación de borde de techo con canalón

posible evitarse, ya que la formación de agua de rocío contra el caño podría ocasionar daños constructivos (la fig. 6.22 muestra un detalle de conexión). Para los bordes de techo se elige generalmente un recubrimiento de titanio-zinc. Pero éste no debería estar en contacto con la tierra. El recubrimiento más sencillo es de madera. Es recomendable la madera de alerce no tratada, que con una correcta aireación por detrás se mantiene 30 años y más. Lo decisivo en el recubrimimiento de

madera es la confección de los detalles. Las tablas de madera sólo pueden tener una muy pequeña superficie de contacto con la construcción de abajo. Como allí se junta durante un tiempo agua capilar, existe el peligro de que ocurra una lenta descomposición. Por este motivo es conveniente no atornillar directamente las tablas sobre un enchapado de listones, sino colocar en medio un disco de plástico como espaciador (fig. 6.11).

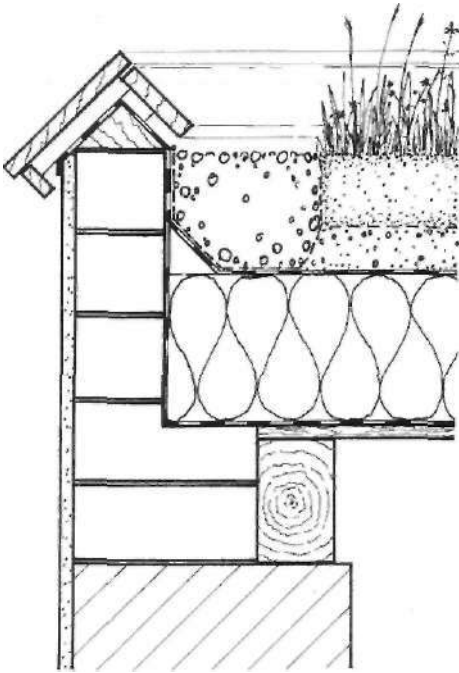


6.6 Construcción del borde de techo con canal

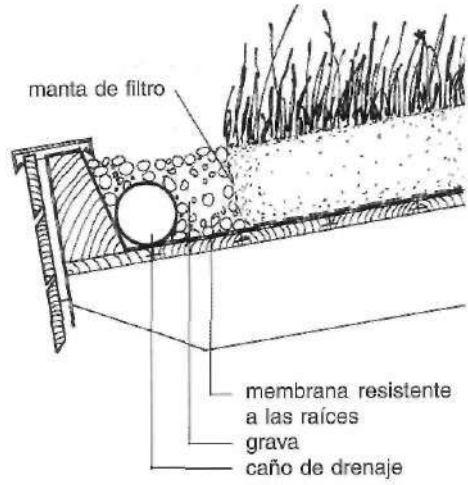


6.7 Construcción del borde de techo con pretil

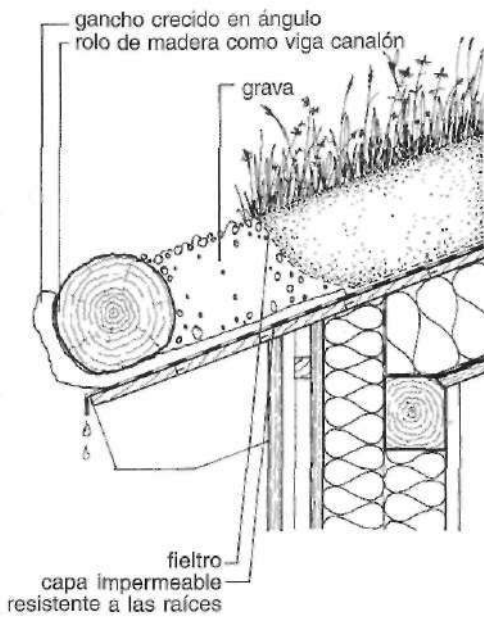




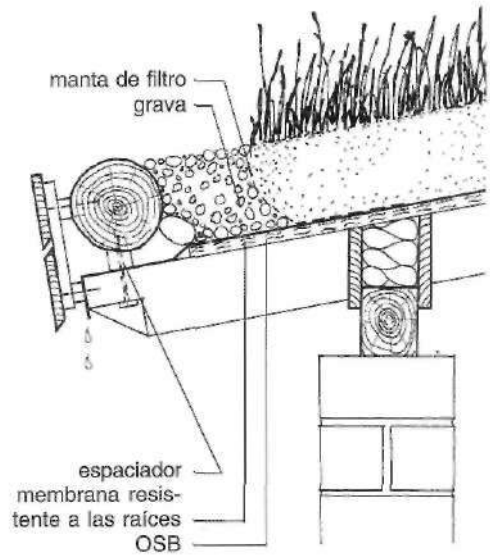
6.8 Detalle de pretil



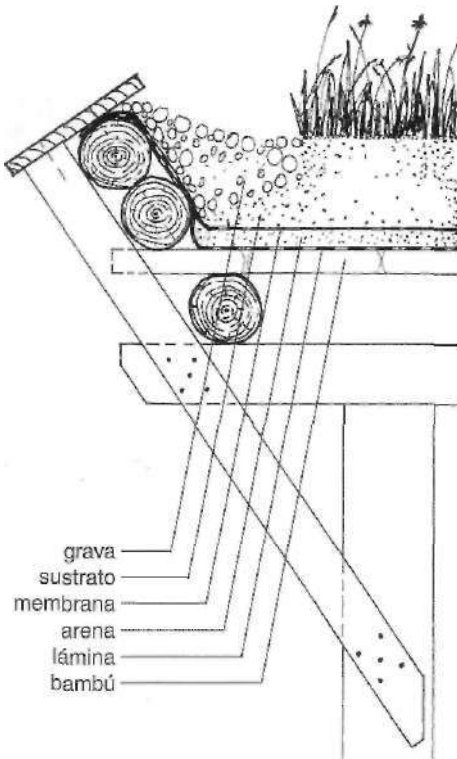
6.9 Detalle de canalón con desagüe lateral



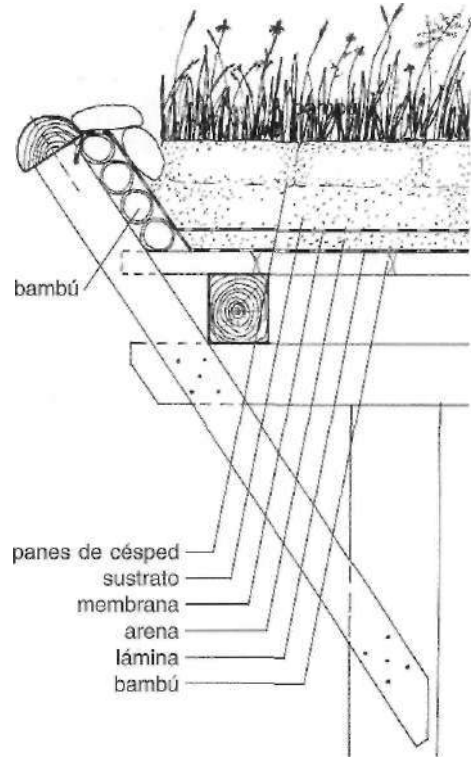
6.10 Detalle de canalón, usado en Escandinavia



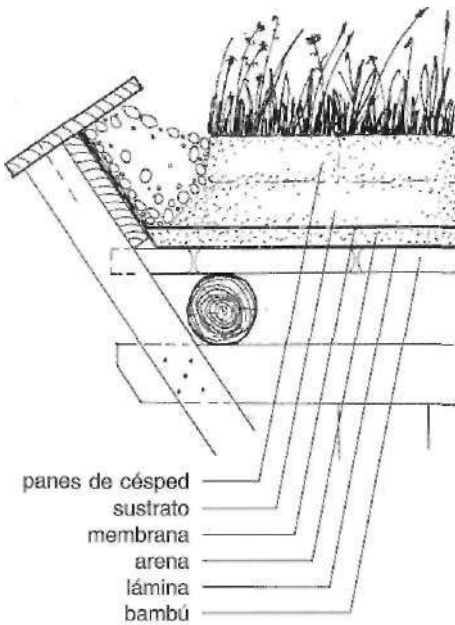
6.11 Detalle de canalón



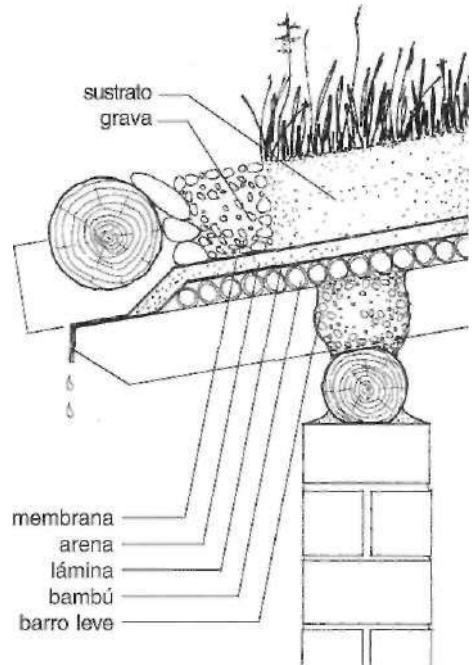
6.13 Conformación sencilla de pretil



6.15 Conformación sencilla de pretil



6.14 Conformación sencilla de pretil



6.12 Detalle de canalón sin drenaje

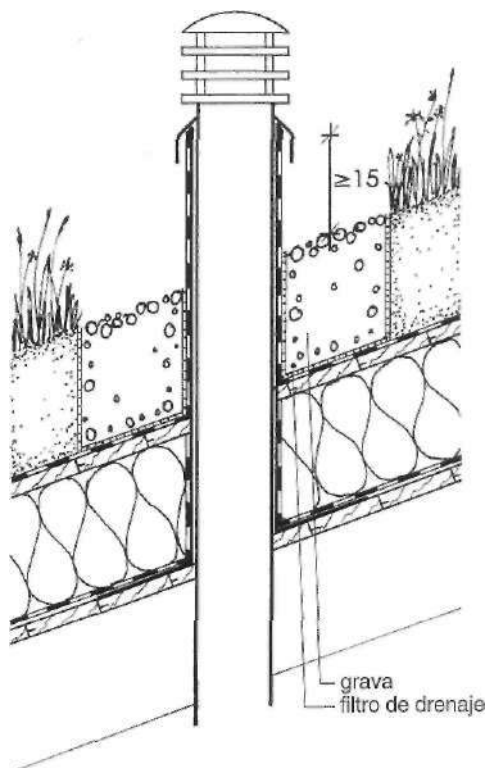
## Seguridad contra el deslizamiento del sustrato

En los techos de fuerte inclinación existe el peligro de que el sustrato se deslice. La determinación de si se debería optar por técnicas especiales de vegetación o tomar medidas constructivas para evitarlo, depende de:

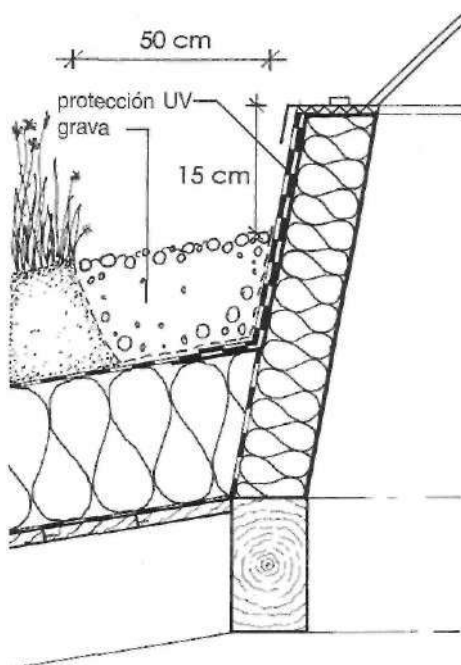
- la inclinación del techo,
- el largo de la superficie inclinada del techo,
- el espesor del sustrato,
- la adhesión del sustrato y
- el grado de enraizamiento

En techos verdes con 15 cm de sustrato ligado, sin capa de drenaje separada y una vegetación de pastos y hierbas silvestres, recién son necesarios dispositivos de seguridad contra el deslizamiento para una inclinación de aproximadamente 20° (36%). Con una vegetación de enraizamiento menos denso y para un sustrato más granulado ya podría ser necesaria esta seguridad a los 15° de inclinación (27%).

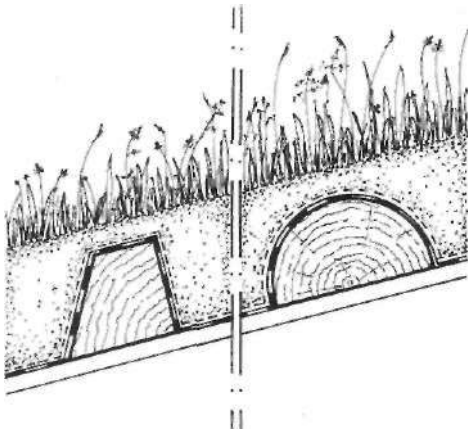
Los travesaños por debajo de la impermeabilización son muy efectivos para la seguridad contra el deslizamiento (fig. 6.18). Cuanto más empinada es la inclinación, más juntos deberán colocarse los umbrales. Para evitar un daño de la capa impermeable en estos lugares, se debería tener la precaución de redondearle las esquinas a la madera canteada que se coloque como umbrales de deslizamiento o prever, bajo la impermeabilización, un grueso fieltro protector. En longitudes de techo menores es posible también incorporar una parrilla de listones en el sustrato, que luego, en el correr de 2 a 3 años, se desintegrará, cuando el sustrato esté completamente atravesado por raíces.



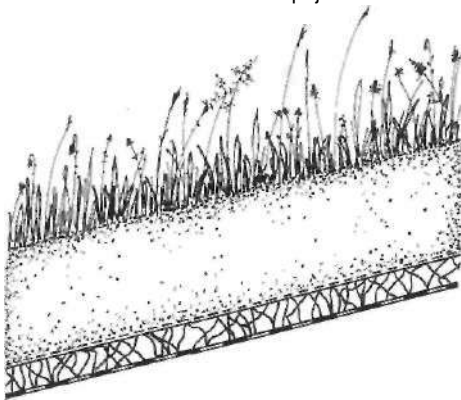
6.16 Encuentro con una ventilación



6.17 Encuentro con una iluminación cenital



18 Seguridad contra el deslizamiento del sustrato mediante umbrales de empuje



6.19 Seguridad contra el deslizamiento del sustrato mediante colchonetas antideslizantes

También son usados a veces para la estabilización los alisados de suelo-cemento o las colchonetas de construcción metálica colocados en el sustrato. Éstos pierden su fortaleza por la oxidación, pero cuando esto ocurre, ya las raíces de las plantas tienen suficiente función estabilizadora.

Con pequeñas alturas de sustrato e inclinaciones de  $15^\circ$  a  $25^\circ$ , generalmente también son suficientes fieltros bien fijados o "colchonetas antideslizantes" de trama armada (fieltros tridimensionales), sujetos a la cumbrera, siempre y cuando el sustrato esté bien compactado (fig. 6.19). Si la vegetación se coloca en forma de rollos de césped o como colchonetas de vegetación, se logra disminuir en algo el peligro de deslizamiento del sustrato.

Todas las ayudas para la estabilización que se colocan en el sustrato o sueltas sobre la impermeabilización del techo, deberían sujetarse a la viga-canalón si es suficientemente resistente o a la cumbrera. La solución más sencilla para esto, en techos inclinados a dos aguas de estructura de madera, es hacer la unión por encima de la cumbrera con el lado opuesto.

En inclinaciones de techo mayores a  $30^\circ$  (58%) son necesarios, como seguridad contra el deslizamiento, generalmente además de las medidas constructivas, las técnicas de la vegetación: al sembrar se puede brindar una estabilización superficial del sustrato con pegamentos, alginatos, celulosa o si no también se puede recurrir al uso de colchonetas prefabricadas de vegetación.

Los enjardinados extremadamente empinados (por encima de  $40^\circ$ ) también son posibles, pero necesitan una técnica especial de sujeción y una estructura particular. En el capítulo 5, se describieron varias soluciones. Si se utilizan panes de césped compactos, entonces tampoco son necesarias en general las medidas antideslizantes en los techos empinados. Se puede colocar una capa de gruesos panes de césped al revés (con el pasto hacia abajo) como sustrato y luego sobre esta capa se coloca otra de panes de césped.

# Desagüe

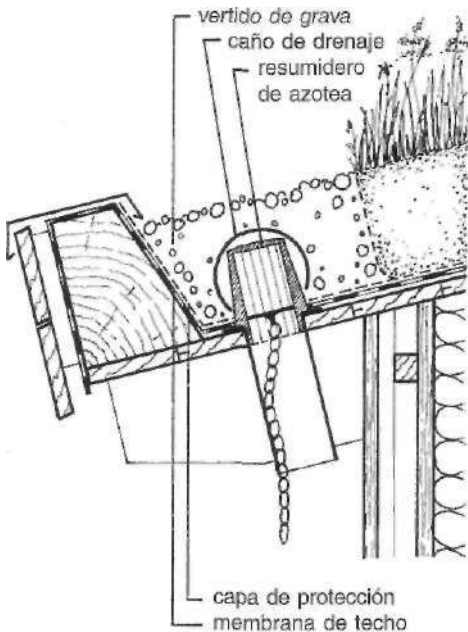
En los techos de verdeado extensivo deberían instalarse menos caños de desagüe pluvial que en los techos habituales. Según la norma alemana DIN 1986 esto en un techo verde sólo desagua el 30% de la cuantía de lluvia caída. A esto hay que agregarle que el desagüe de pluviales se produce con un fuerte retraso.

Para tramos de canalones hasta los 10m es suficiente en general una bajada pluvial al final del extremo del techo. Ésta se orienta hacia abajo (fig. 6.20), inclinada para adelante o montada para el costado, ya sea sobre un caño pluvial o una gárgola (fig. 6.21). La figura 6.23 muestra el diseño

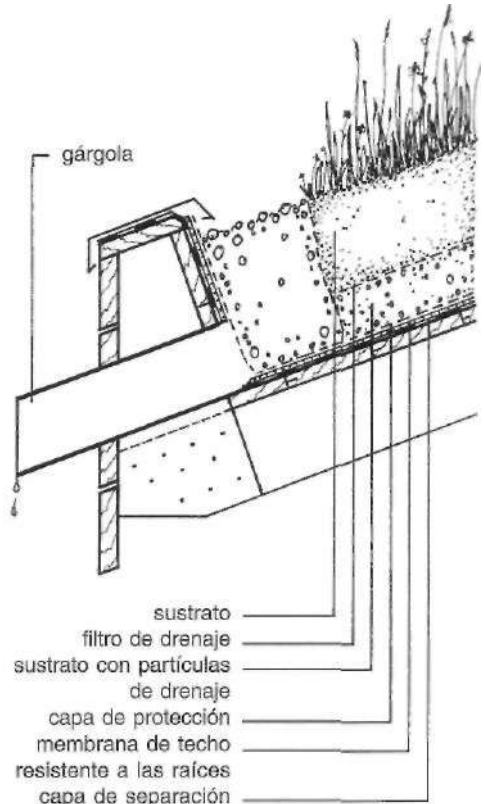
de un desagüe interior. Para esto existe la oferta, por parte de algunas empresas, de piezas especiales con cuplas de unión, que se sueldan con la membrana de techo.

Contra el canalón debería colocarse un caño de drenaje de 80 a 100mm de diámetro apoyado sobre un lecho de grava. Para grandes longitudes de canalón es conveniente prever una caída inclinada de cerca del 1%.

En las limadlas se recomienda una solución que se corresponda con la figura 6.23.

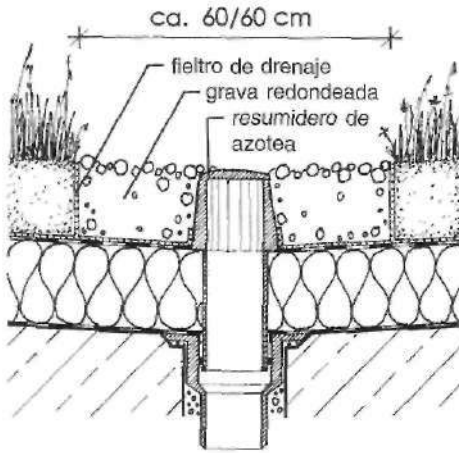


6.20 Desagüe pluvial

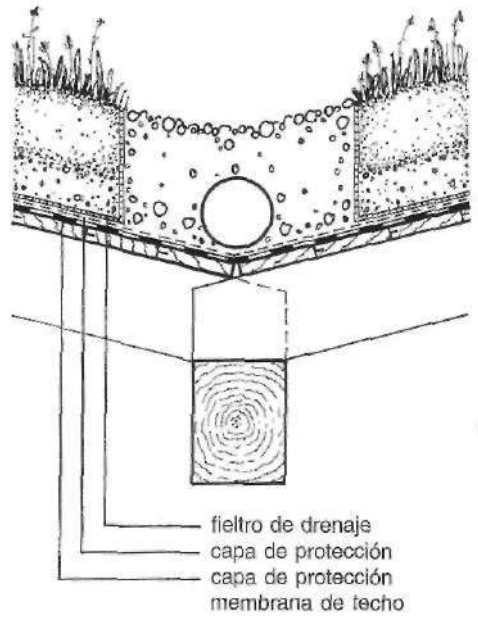


6.21 Desagüe pluvial





6.22 Desagüe interior



6.23 Conformación de una garganta de azotea

## 7. Enjardinado posterior

Para todo techo inclinado hasta 30° con una cubierta convencional que necesite ser refaccionado, la instalación de un techo de césped se presenta, en general, como una excelente medida de reparación y rectificación, con una técnica económica y de ahorro de energía.

Los techos planos deberían tener una inclinación mínima del 3% (mejor aun 5%), que se podría lograr, por ejemplo, mediante la acumulación de tierra, un desnivel de hormigón o una correspondiente construcción de madera por debajo.

Antes del enjardinado se debería estimar la capacidad de carga y el efecto de barrera de vapor del techo existente. El enjardinado posterior otorga al mismo tiempo la posibilidad, con poco gasto, de aumentar el efecto de aislación térmica del techo.

No tiene sentido colocar panes de césped o sustrato directamente sobre la cubierta existente de un techo de tejas, chapas onduladas o similares. Por la fuerza de capilaridad, la humedad de la tierra penetra en las juntas existentes y luego las raíces crecen dentro de esas juntas, lo que puede conducir muy fácilmente a daños constructivos. En todos los casos se deberá colocar una membrana impermeable y resistente a las raíces.

Si no existe ninguna barrera de vapor intacta, debería instalarse una cámara de aire por debajo de la membrana de más arriba ("techo frío", ver cap. 4, fig. 4.4). Es relativamente fácil revivir techos de grava existentes a través de un enjardinado sencillo. En techos viejos de

grava la propia naturaleza se encarga a veces de esto: con la acumulación de polvo y hojas y por la descomposición, surge una tierra con nutrientes en la que pueden crecer plantas como musgos, Sedum, Sempervivum y otras. Este proceso puede ser acelerado poniendo en la grava algo de tierra y sustancia orgánica, e incorporando algunas de esas plantas.

Pero los enjardinados sencillos de este tipo deberían ser elegidos solamente cuando la membrana impermeable del techo, ubicada bajo la grava, también sea resistente a las raíces. Las membranas asfálticas no lo son.

La vivienda que se muestra en la página 43, con un techo inclinado de 180m<sup>2</sup> de superficie, estaba cubierta originalmente con chapas acanaladas de fibrocemento. Como a pesar de múltiples reparaciones siempre pasaba humedad por el techo, el propietario decidió retirar la vieja cubierta y sustituirla por una pradera de pastos y hierbas silvestres. Desde entonces no fueron necesarias más reparaciones. Para poder recibir el peso adicional del techo verde se insertaron tirantes nuevos intercalados entre los tirantes existentes relativamente finos.

## 8. Cuidados de terminación, riego

Si se encarga a una empresa la construcción del techo verde, es aconsejable establecer si en el marco de los cuidados de terminación deben tomarse medidas especiales, como por ejemplo:

- riego inicial,
- riego durante el sembrado,
- sembrado y/o plantado posteriores.

Los techos verdes con un denso colchón de pasto evaporan, a decir verdad, proporcionalmente mucha humedad, pero gracias a la formación de agua de rocío por la mañana vuelven a quedar completamente regados. En los períodos

muy largos de sequía, y particularmente en techos empinados orientados hacia el sol o para sustratos con escaso almacenamiento de agua, puede tener sentido un riego artificial. En este caso es ventajoso, en la zona de más arriba, agregarle mangueras al sustrato para riego por goteo.

Puede suceder que algunas plantas mueran, pero a través de la propia producción y diseminación de semillas se regenera siempre de nuevo un techo de verdeado extensivo.



8.1 Vivienda en Bariloche (Argentina)

## 9. Prueba de hermeticidad

Realizar la prueba de hermeticidad es responsabilidad del techador.

De todos modos, la hermeticidad debería ser verificada al principio a través de una inspección ocular. El método más seguro es comprobar con un destornillador si todas las costuras son completamente herméticas.

En techos con bordes y escasa pendiente la comprobación llenando con agua es la más segura. En techos con fuerte inclinación puede comprobarse la hermeticidad durante una lluvia prolongada.



9.1 Vivienda en Bad Essen (Alemania)

# 10. Autoconstrucción

La impermeabilización del techo o la membrana resistente a las raíces deben, respectivamente, ser colocadas con mucho esmero, lo que por motivo de su garantía tendría que ser efectuado por empresas especializadas. Algunas empresas ofrecen una garantía por 10 años para la membrana de impermeabilización de techo.

También la planificación de los detalles constructivos preferiblemente debería dejarse a cargo de gente especializada, cuando se pretende una larga vida útil.

Es posible realizar personalmente la toma de medidas de la superficie del techo y el pedido de información de las ofertas que hay en plaza. Es recomendable, que se soliciten las ofertas de varias empresas para poder compararlas. Ya que los aficionados con frecuencia pasan por alto algunas tareas aisladas en la descripción de los trabajos, es aconsejable solicitar un ofrecimiento global que contenga la totalidad de los mismos. Para esto sólo debería indicarse: finalidad del enjardinado, construcción de las capas, posición, inclinación y superficie del techo, tipo de terminaciones de borde y desagüe pluvial, y advertir en caso de dificultades particulares en la ejecución. La infraestructura de obra tendría que estar incluida en el precio.

La oferta, además de contener la firma legal, lugar, fecha y sello de la empresa, deberá establecer el tiempo de duración de los trabajos. Es aconsejable también, fijar fecha de inicio y de terminación de la obra.

Los vicios en los trabajos ejecutados serán inmediatamente señalados por escrito y solicitada su cuidadosa eliminación también por escrito.

En el edificio de la escuela que se muestra en la figura 10.1, la membrana de techo resistente a las raíces se realizó en una sola pieza en el taller y con la ayuda de una grúa se subió al techo donde mediante autoconstrucción se extendió y fijó al mismo. Esto tuvo la ventaja, de que en el taller la membrana de techo se unió en una sola pieza mucho más rápido y seguro, y el techo pudo ser impermeabilizado en muy corto tiempo. También el sembrado de la mezcla de pastos silvestres fue llevado a cabo por mano de obra propia. La figura 10.2 muestra el techo de pasto después de su primer período de crecimiento.

Si uno mismo coloca la capa resistente a las raíces, deberá prestar atención de que quede bien fijada al borde o asegurada con balasto, para que no se levante con el viento.

El sustrato y la vegetación pueden ser colocados por el usuario generalmente sin dificultades.

Si se dispusiera de un cargador frontal o una excavadora y si la cumbrera estuviera baja, la tierra se podría mezclar, sin problemas, con desechos minerales y también subirla al techo. La distribución del sustrato sobre el techo se efectuaría luego con carretilla y pala.

La solución más económica para enjardinar es a través del sembrado de semillas, de las cuales existen mezclas en el comercio especializado.

Para el sembrado en seco alcanzan de 3 a 8g de semillas por m<sup>2</sup>. Como es difícil esparcirlas en forma pareja con la mano, se recomienda mezclarlas con arena o aserrín.

Después de sembradas las semillas deberían ser apenas rastrilladas y





10.1 Montaje con grúa de una membrana de techo prefabricada



10.2 Techo de césped después de un período de crecimiento



apisonadas, de modo que tengan un buen recubrimiento de tierra y queden aproximadamente cubiertas con 5 mm de sustrato. En las primeras semanas, durante las fases de germinación y de arraigo de la planta debe mantenerse húmedo el sustrato. Si las semillas son arrastradas por un fuerte viento o por la lluvia o comidas por pájaros, etc., se deberá volver a sembrar.

En techos inclinados, puede también ser recomendable, colocar filas de panes de césped a una cierta distancia unas de otras y sembrar en el medio. Con esto se frena el lavado por la lluvia y se acelera el proceso de enjardinado (fig. 10.3).



Para lograr un enjardinado rápido puede emplearse césped pronto. Viene en rollos de 0,50 m x 1,00 m (fig. 10.4) o de 0,40 m x 2,50 m. El espesor del sustrato es aproximadamente de 2 cm y el césped está cortado. Las mezclas de gramíneas son mayormente empleadas para céspedes con fines deportivos o paisajísticos y por lo tanto no contienen la mezcla óptima de pastos silvestres para un verdeado extensivo de techos. Debe contarse con pérdidas por secado. Pero para 15 cm de espesor de sustrato se presentan relativamente pocos daños. La mayoría de las veces la vegetación se adapta por sí misma en el correr del primer año y si eventualmente se seca, debe sembrarse de nuevo.



En la colocación de rollos o panes de césped, deberán apretarse bien los bordes y si quedaran juntas abiertas, éstas deberán llenarse con sustrato (fig. 10.5). De otro modo se secan los bordes demasiado rápido y esto lleva a pérdidas. También para el césped pronto es recomendable, regar enseguida de colocado.

10.3 Enjardinado de techo con panes de césped y sembrado

10.4 Césped en rollo

10.5 Montaje de césped en rollo



10.6 Montaje de sustrato



10.7 Casa experimental, Universidad de Kassel (Alemania)

## 11. Mantenimiento

Cuando la vegetación prendió bien, la construcción del techo fue correctamente ejecutada y no surgió ningún período largo de sequía, no es necesario un mantenimiento de la vegetación. Si sobre el techo crecen arbustos más altos o árboles, éstos deberán eliminarse.

El techo verde no debe ser cortado, como se puede ver en la figura 11.4. Esto trae aparejado, por un lado, el peligro de que se seque demasiado rápido y por otro, que se pierda sustancia orgánica. Si se corta muy a menudo, el sustrato debería ser abonado para mantener el equilibrio ecológico.

## 12. Costos, vida útil

Hacer afirmaciones exactas sobre costos, no es posible. Las ofertas de empresas para techos verdes completos pueden variar hasta en un 80%. La situación de pedidos de las empresas, la distancia de transporte, la accesibilidad del terreno y la época del año pueden tener una gran influencia sobre el precio de la oferta.

El lograr una construcción económica empieza desde la planificación; por eso deben, en lo posible, elegirse techos con pocos quiebres, con inclinaciones no demasiado grandes y una sencilla formación de borde. Si esto se toma en cuenta, los costos son sólo un poco más



11.1 Techo cortado, Porto Alegre (Brasil)

altos en Europa que los de techos convencionales.

Los recubrimientos de lucarnas (fig. 12.1), que para techos convencionales pueden provocar considerables costos adicionales, para techos verdes podría hacerse un presupuesto con un costo más favorable. Lo mismo es válido para techos en forma de cúpula, que pueden ser cubiertos con vegetación a un costo menor que, por ejemplo, con ripia o tejas (fig-12.2).

Si se considera la vida útil, la probabilidad de llegar a tener problemas y los costos de reparación, los techos verdes con verdeado extensivo, en todos los casos,

son más económicos que todas las otras conformaciones de techos. A esto debe agregarse que un techo verde adicionalmente ofrece conservación de calor y protección contra el mismo en el verano, lo que para una comparación de costos debería tomarse en cuenta.

En la elección de la impermeabilización del techo resistente a las raíces, se debe prestar atención a que sea 100% impermeable y 100% resistente. Esto también tiene que cumplirse en la elaboración de costuras (empujones). La solución más barata para esto es una gruesa lámina de polietileno de hasta 8m de ancho y 0,5 mm de espesor. Pero ésta es fácilmente perforable, no se puede



12.1 Techo de césped con lucarna integrada



soldar y debe siempre ser protegida, sobre y debajo de la lámina con un fieltro protector.

Del punto de vista ecológico son menos recomendables las láminas de PVC, que también son vendidas como "láminas para estanque" o piscinas.

En Brasil se consiguen láminas negras de polietileno de alta densidad (PEAD).

Tienen un ancho de hasta 6 m, 0,5 a 1,00 mm de espesor y su precio es de US\$ 1.40 a 2.80 por m<sup>2</sup>. Pero son muy rígidas. Por este motivo la formación de los detalles de borde es complicada. Se las puede unir en el taller en grandes superficies.

Las lonas, como las que se utilizan para cubrir los camiones, de tejido de poliéster con recubrimiento de PVC se pueden

soldar bien y son muy resistentes.

Deberían ser, en lo posible, con revestimiento grueso. En Europa se producen de 2 mm de espesor. Este material es el más económico en Europa. En Latinoamérica la mayoría de las veces se producen de sólo 1 mm de espesor.

Una lámina de poliéster de 0,2 mm de espesor y 6 m de ancho cuesta en Argentina y Brasil aproximadamente US\$ 0.30/m<sup>2</sup>.

En Uruguay, por ejemplo, la lona de camiones de 1,4 m de ancho, cuesta aproximadamente US\$ 3.60/m<sup>2</sup> y las membranas asfálticas de 2 mm de espesor cuestan a partir de US\$ 1.00/m<sup>2</sup>, si son producidas en el país.



12.2 Jardín de infantes Waldorí, Wennigsen-Sorsum (Alemania)



12.3

## 13. Bibliografía

- Bartfelder, F. y Köhler, M.: Stadt-klimatische und lufthygienische Entlastungseffekte durch Kletterpflanzen in hochbelasteten Innenstadtbezirken. Verh. d. Gesellschaft f. Ökologie, Gieben 1986 Band XVI
- Darius, F. y Drepper, J.: Rasendächer in Berlin, Ökologische Untersuchungen auf alten Berliner Kiesdächern, en Liesecke, H.-J. (ed.): Dachbegrünung, Editorial Patzer Berlín/Hannover 1985
- DDV - Deutscher Dachgärtner Verband e. V., Baden-Baden: Dachgärtnerrichtlinien 1985
- Drefahl, J.: Dachbegrünung, Colonia 1995
- Drepper, J.: Pflanzen auf alten Berliner Häusern, en Stiftung Naturschutz Berlín (ed.): Das Gründach. Editorial propia, Berlín 1983
- Dürr, A.: Dachbegrünung. Bauverlag, Wiesbaden 1995
- Gertis, K.; Wolfseher, U.: Veränderungen des thermischen Mikroklimas durch Bebauung, en Gesundheits-Ingenieur 1 /2 1977, pág.1-10
- Gósele K.; Schüle, W.: Schall, Wärme, Feuchte. Wiesbaden/Berlín 1983
- Gótze, H.: 1985, Dachbegrünung, en el Instituto para la Construcción con materiales sintéticos (ed.): Manual del Seminario 77, Darmstadt 1986
- Grützmaker: Grasdach. Callwey, Munich 1984
- Hämmerle F: Das Gründach rechnet sich. En DDH-Edition Gründach, o.O., o.J., pág. 30-35
- Katzschner, L: Ergebnisse des Versuchs zur Abflubmessung eines Grasdachs, Informe inédito, Universidad de Kassel 1991
- Klindt, L: Begrünte Dächer, en Deutsches Architektenblatt 9/91, pág.1388
- Kolb, W., Schwarz, T.: Dachbegrünung intensiv und extensiv. Ulmer, Stuttgart 1999
- Krupka, B.W.: Dachbegrünungen und Grasdächer. Editorial R. Müller, Colonia 1986
- Lótsch, B.: Stadtklima und Grün, en Andrtzky, Spitzer (ed.): Grün in der Stadt. Reinbek 1981, pág. 134-153
- Liesecke, H.j. et al.: Grundlagen der Dachbegrünung; en Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung, Landschaftsbau (ed.): Patzer, Berlín 1989
- Minke, G.: Fassaden- und Dachbegrünung-ein ökonomischer Beitrag zum ökologischen Bauen, en Schwarz, U.(ed.): Grünes Bauen, Reinbek 1982, pág. 149-173
- Minke, G.; Witter, G.: Häuser mit grünem Pelz, Editorial Fricke, Francfort 1982
- Minke, G.: Experimentelles Bauen. Ökobuch, Staufen 1985
- Ohlwein, K.: Dachbegrünung Bauverlag Wiesbaden, Berlín 1984

## 14. Fotografía

Olschowy, G.: Landschaft und Technik.  
Hannover/Berlín/Sarstedt 1970

Penningsfeld et al.: Prüfung verschiedener  
Wurzelschutzbahnen für Dachgärten, en  
Garten und Landschaft, cuaderno 8/1981,  
pág.584-591

Robinette, G.O.: Plants, People and  
Environmental Quality. US Department of  
Interior. Washington, 1972

Schild, E., Oswald, R. (ed.): Genutzte  
Dächer und Terrassen-Konstruktion und  
Nachbesserung begangener, bepflanzter  
und befahrener Flächen. Bauverlag  
Wiesbaden, Berlín 1986

Stifter, L.: Dachgärten. Ulmer, Stuttgart  
1988 Umweltbehörde Hamburg (Hrsg.):  
Dachbegrünung als stadtökologische  
Maßnahme zur Umweltverbesserung.  
Hamburg, 1987

Umweltbundesamt (ed.): Dachbegrünung.  
Berlín 1987

Zentralverband des Deutschen  
Dachdeckerhandwerks e. V.:  
Flachdachrichtlinien für die Planung und  
Ausführung von Dächern mit Abdichtungen  
- Flachdachrichtlinien. Müller-Editorial,  
Colonia 1992

Más información sobre techos verdes en  
América del Sur se puede encontrar en:  
[www.ecoaeco.com](http://www.ecoaeco.com)

Bernd Baier: 1.1, 5.4  
Wolfgang Willkomm: 1.2  
Martin Küenzlen: 2.5, 2.13, 5.10, 5.11, pág.  
22 arriba y pág. 23 abajo  
Marta AbalOliú: 4.15  
Mathias Brinkmann: 7.1  
Klaus Ohlwein: 10.2  
Michel Bergeron: pág. 11 abajo  
Kareen Herzfeld: pág. 38  
Carlos Jensen: pág. 39 abajo

Todas las demás fotos son del autor.

Las representaciones gráficas sin  
indicación de origen las produjo Vera  
Friederike Frey.

## Agradecimiento

El autor agradece a :

Gerhard Entz  
Javier Fraga  
Kareen Herzfeld  
Mil ka Lagrotta  
Carlos Placitelli  
Eduardo Villagrán  
por su colaboración en la traducción,  
corrección, montaje y publicación  
de este libro.

Los techos verdes no son solamente agradables a la vista: forman un valioso biotopo en la ciudad, mejoran el aire y tienen considerables ventajas técnico-constructivas y también físico-constructivas; enfrían en verano, calientan en invierno y prolongan la vida útil del techo. Además son fáciles de realizar y más baratos que otros.



Gernot Minke es arquitecto, catedrático de la Universidad de Kassel (Alemania) y dirige el Instituto de Investigación de Construcciones Experimentales.

Es especialista en construcciones ecológicas: trabaja como arquitecto asesor en esa área, ha publicado libros sobre el tema y elaboró el primer sistema de enjardinado para techos inclinados.

Las viviendas, escuelas y oficinas y, por supuesto, los garajes y cocheras, pueden ser provistos de un techo verde.

Gernot Minke presenta, en esta guía de la construcción, una serie de sistemas ya probados para enjardinado de techos planos e inclinados: las ventajas e inconvenientes de cada uno, los principales detalles constructivos, las cifras de costos y las indicaciones para una eventual autoconstrucción.

Todo expuesto en forma tan precisa y accesible, e ilustrada con fotos y dibujos tan sabiamente seleccionados, que Ud. estará en condiciones de elegir el tipo de techo verde más conveniente y de llevarlo a la práctica.