

Techos Verdes: de la teoría a la práctica

Green roofs, from theory to practice

Luis Emilio Barrios Sanabria (luissbarrios@hotmail.com)

Magister en Educación Superior Universitaria. Docente investigador de la Carrera de Arquitectura de la Universidad Columbia del Paraguay. Par evaluador por la ANEAES para la carrera de Arquitectura según el Modelo Nacional y el Sistema ARCU-SUR del Mercosur.

RESUMEN

Los techos verdes, fueron utilizados desde la antigüedad como cobertura para viviendas en el norte de Europa, por sus excepcionales condiciones como aislante térmico, y la disponibilidad de sus elementos constructivos en el entorno. En la actualidad su uso se ha diversificado ante el excesivo aumento térmico que las edificaciones generan a través de las cubiertas, para volver las construcciones más amigables con el ambiente.

Esta investigación se justifica en la medida en que la revisión científica y su puesta en práctica en un ambiente controlado como el de la universidad, permiten un seguimiento continuo de su desarrollo, las condiciones que posibilitan el mismo, mediciones térmicas, de humedad, y otros factores de incidencia en el entorno.

La metodología aplicada se basó en el modelo Investigación-Acción, consistió en realizar previamente una revisión teórica en base a la bibliografía existente y tres seminarios presentados por: 1) El Doctor Arquitecto Gernot Minke de Alemania; 2) El Arquitecto Carlos Placitelli de Uruguay; y 3) Los Arquitectos Luis Emilio Barrios y Roque Ismael Cabral, estas últimas brindadas a los estudiantes antes de la práctica final. El estudio además de la revisión bibliográfica, incorpora experiencias realizadas con alumnos de Arquitectura de la Universidad Columbia del Paraguay, sede España, en 2011 y 2014. Entre los resultados obtenidos pueden validarse que, los techos verdes, fundamentalmente aquellos de tipo extensivo, generan sus propias condiciones de vida cuando encuentran condiciones óptimas para ello como el largo de hojas adecuado. Por otra parte, las matas suficientemente resistentes para las condiciones a que estarán sometidas y finalmente el

mantenimiento preventivo extrayendo brotes de plantas arbustivas que arraigan en ellos.

Palabras claves: Techos verdes, estructura portante, sustrato, capa vegetal, techos extensivos, techos intensivos, drenajes del sustrato.

ABSTRACT

The green roofs were used since antiquity as cover for homes in northern Europe, for their exceptional conditions as thermal insulation, and the availability of their building elements in the environment. At present, its use has been diversified due to the excessive thermal increase that the buildings generate through the roofs, in order to make the constructions more environmentally friendly.

This research is justified insofar as the scientific review and its implementation in a controlled environment such as that of the university, allow a continuous monitoring of its development, the conditions that make it possible, thermal, humidity, and other measurements. factors of incidence in the environment.

The applied methodology was based on the Investigation-Action model, consisted in previously carrying out a theoretical review based on the existing bibliography and three seminars presented by: 1) Doctor Architect Gernot Minke of Germany; 2) The Architect Carlos Placitelli of Uruguay; and 3) The Architects Luis Emilio Barrios and Roque Ismael Cabral, the latter provided to the students before the final practice. The study, in addition to the bibliographic review, incorporates experiences with Architecture students of the Columbia University of Paraguay, Spain headquarters, in 2011 and 2014. Among the results obtained, it can be validated that green roofs, mainly those of an extensive type, generate their own conditions of life when they find optimal conditions for it, such as length of suitable leaves. Also mattes sufficiently resistant for the conditions to which they will be subjected. And finally, preventive maintenance by extracting shoots of shrub plants that take root in them.

Keywords: Green roofs, supporting structure, substrate, topsoil, extensive roofs, intensive roofs, substrate drains.

Fecha de recepción: 25.07.2018 Fecha de aprobación: 22.10.2018

Antecedentes

La carrera de Arquitectura de la Universidad Columbia del Paraguay sede España, desde el inicio mismo de su existencia planteó como uno de sus objetivos primordiales, brindar a la educación de sus estudiantes un decidido énfasis en favor del medio ambiente. En el marco de esa temática, fueron realizados varios emprendimientos como la presente investigación, en la idea de incorporar al bagaje de conocimientos del estudiante, conocimientos básicos en lo que al aprovechamiento de los recursos ambientales se refiere.

Las cubiertas vivas o techos verdes, fueron utilizados principalmente por los vikingos procedentes de Escandinavia, desde antes de sus viajes de conquistas por los mares del atlántico norte en los siglos VIII y IX d. c., hay constancias de su uso en los actuales territorios de Suecia, Noruega e Islandia (última Thule), aunque también lo utilizaron otras tribus de origen celta que ocupaban el norte de la actual gran Bretaña e Irlanda.

Según Minke (2010), originalmente estos techos se basaban en estructuras de madera descansando sobre muros de piedra o terrones encima de las cuales se colocaban diversas capas de turba. En otras ocasiones se utilizaban cortezas de abedul sobre los entramados de madera como base para el sustrato que contenía el empastado, por lo general con pendientes que iban entre los 30° y 45° de inclinación (57.5 % a 100 % de pendiente), a fin de asegurar su estanqueidad.

El empastado consistía en hierbas propias del sitio de la construcción ya adaptadas al clima, con lo cual se lograba su supervivencia a pesar de las condiciones extremas de la temperatura. Esto permitía aislar térmicamente la vivienda evitando la pérdida de calor a través del techo, este tema era muy importante si consideramos que, en invierno, la temperatura descendía hasta $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ o menos en esas regiones.

Esta solución técnica para proveer de aislamiento térmico a las viviendas de las zonas frías, también es aplicable a las zonas templadas y cálidas, prueba de ello es que se los encuentra incluso en zonas tropicales, totalmente integrados al paisaje del lugar (Placitelli, 2010).

Se plantea como objetivo general de este trabajo:

Analizar los techos verdes como alternativa viable para resolver los conflictos creados por el excesivo aumento térmico en las edificaciones a través de las cubiertas, y mitigar la reflexión del calor a la atmósfera, cotejando la información existente en las diferentes bibliografías tanto impresas como en el internet, y contrastarlas posteriormente con las prácticas realizadas en el campus, con estudiantes de la carrera de Arquitectura de la Universidad Columbia del Paraguay.

De este modo, en un primer momento del análisis se abordarán estudios referentes a los techos verdes, sus características, los requisitos técnicos para su diseño, los elementos de construcción, mantenimiento y finalmente llevarlos a la práctica con los estudiantes.

Objetivos específicos:

1. Presentar las ventajas que aportan los techos verdes para regular el comportamiento del micro clima en las edificaciones y su entorno circundante.
2. Indagar acerca de los desafíos que plantea su diseño.
3. Identificar los elementos que intervienen en su construcción
4. Determinar los cuidados a prodigar para su mantenimiento
5. Determinar la vida útil promedio de estas cubiertas.
6. Generar una experiencia aprendizaje/aula.

¿Qué son los techos verdes?

Los techos verdes, techos vivos o cubiertas ajardinadas, constituyen una modalidad de cubierta utilizada ya desde la antigüedad. Consisten en la colocación de un sustrato con capa vegetal sobre una estructura portante, con el fin de acondicionar el espacio interior para el hábitat.

En la actualidad esta estructura portante puede fabricarse con hormigón armado, cerámica armada, estructura de madera o metálica entre otras, disponiéndose los elementos aislantes conforme a las condiciones climáticas del sitio y la función del edificio, y la capa vegetal o capa verde variará en función al objetivo final que se persigue con la cobertura.

Techos verdes extensivos y techos verdes intensivos

Techos verdes extensivos: son aquellos en los que la vegetación por lo general no es arbustiva, el sustrato no tiene gran espesor (3 a 15 cm), y se utilizan variedades vegetales propias del lugar, resistentes a las sequías y a la temperatura variada de la región, con mantenimiento mínimo o nulo, y no se persiguen objetivos estéticos ni cubiertas que sean transitables. Su peso no es considerable, pudiendo variar entre los 130 y 180 kg/m².

Como ejemplo de este tipo de techos, tenemos los utilizados originalmente en los países fríos principalmente del norte de Europa: Escandinavia, Islandia y el norte del Reino Unido, aunque más recientemente también se han realizado experiencias en Alemania, Estados Unidos de Norte América y Canadá, expandiéndose su uso no solo en países de climas fríos, sino también en aquellos de clima más templado o cálido como África y Sudamérica.

Techos intensivos: son construidos con un objetivo más estético, en los que se toman en cuenta otros detalles como la incorporación de especies arbustivas, el uso de plantas y equipamientos de jardinería, etc., con un claro objetivo de ornamentación; incorporan además sistemas de riego artificial, poda constante y la aplicación de nutrientes.

Este tipo de cubiertas, utiliza conceptos de aislación hidrófuga y anti raíces más resistentes, así como sustratos de mayor profundidad (30 cm o más), lo cual obliga a que también la estructura portante sea más resistente para soportar las sobrecargas adicionales. Por lo general parte

o la totalidad de su superficie es transitable, incorporan sistemas de iluminación, bancas, fuentes de agua, etc., que los hacen muy atractivos visualmente además de aprovechar sus condiciones como aislante térmico, anti reflectivo del calor, depuradores del ambiente, etc.

Ventajas del uso de techos verdes

Las masivas construcciones con acabados que reflejan el calor, sumados a las vías pavimentadas y el excesivo uso del vidrio en las edificaciones de nuestras urbes actuales, han producido una serie de inconvenientes a nivel climático que, sumados a la deforestación, las emanaciones industriales y de los vehículos automotores, han dado como resultado lo que conocemos como efecto invernadero, y calentamiento global.

Esto ha vuelto insalubres a nuestros asentamientos urbanos, restándoles oxígeno, aumentando la temperatura ambiente y produciendo abundancia de sustancias nocivas.

Según Lótsch (1981), c.p. Minke (2010), en las noches de verano la temperatura del aire alcanza en el centro de una gran ciudad, entre 4°C y 11°C más altas que en los suburbios, y las ciudades tienen hasta un 15% menos de horas de sol directo a consecuencia de la bruma, con una mayor frecuencia de niebla (de 30 a 100%) de acuerdo a la época del año, además de alteraciones climáticas cada vez más catastróficas (lluvias intensas, fuertes vientos, etc.).

De ahí que, la alternativa de utilizar cubiertas y muros verdes, así como la disminución de áreas pavimentadas en las calzadas, con pavimentos combinados menos reflejantes del calor, y una reforestación selectiva de áreas hoy deforestadas, constituyen excelentes alternativas para mitigar este crecimiento desmedido de las condiciones agresivas al medio ambiente.

Minke (2010), cita las ventajas que aportan los techos verdes al entorno climático y al hábitat:

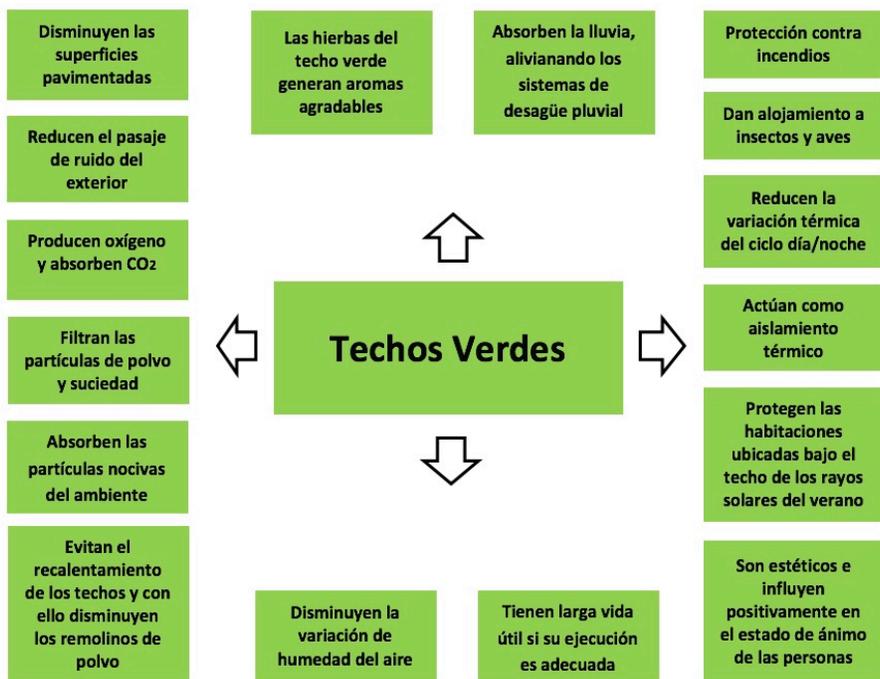


Fig 1. Aportes de los techos verdes. Fuente: Minke (2010).

Placitelli (2010), cita otras ventajas aportadas por los techos verdes al entorno climático y al hábitat:

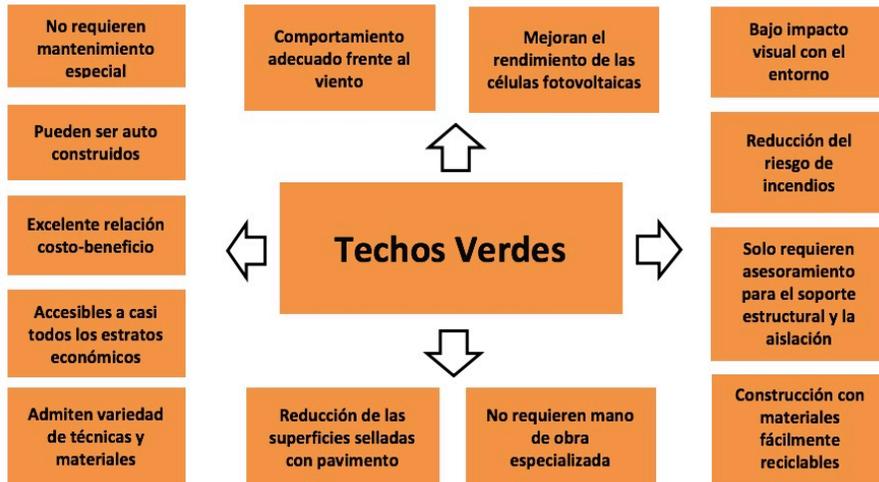


Fig 2. Aportes de los techos verdes. Fuente: Placitelli (2010).

De este modo, existen características que ambos autores toman en cuenta, respecto a la funcionalidad, frente al clima por otra parte la relación de costo y uso. Además, resulta pertinente en cuanto al fenómenos urbano en el que nos encontramos, como país y a nivel global.

Mencionadas estas características, es necesario ahondar los desafíos y los elementos que se tuvo en cuenta para vincular el trabajo realizado con los estudiantes.

Desafíos para el diseño de un techo verde

Importancia de la superficie de hojas para el logro de beneficios:

Según Minke (2010), la densidad y el espesor del pasto crecido, así como la cantidad de superficie de hoja, son decisivos para lograr muchas de las características positivas de los techos verdes, como: la limpieza del aire, la formación de rocío y el efecto de aislamiento térmico. Algunos estudios del Laboratorio de Investigación de Construcción Experimental de la Universidad de Kassel, expresan que un césped recién cortado de 3-5 cm de altura, tiene aproximadamente 6-9 m² de hoja verde por cada m² 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 m² por cada m² de superficie de suelo. Para potenciar el efecto de aislación térmica durante el invierno y un buen efecto de enfriamiento en el verano bajo intensa radiación solar, debe elegirse una vegetación densa de pastos silvestres. Los techos verdes con Sedum son hermosos a la vista, pero tienen un efecto ecológico y físico-ambiental mucho menor que los pastos silvestres sobre el techo, por tener una menor superficie comparativa de hojas.

Tabla N° 1. Superficie de hoja de diferentes tipos de vegetación, por cada m² de superficie cultivada para techos y fachadas verdes. Fuente:

Minke (2010) pág. 24.

Superficie de hoja de diferentes tipos de vegetación utilizados para techos y muros verdes.

<i>Tipo de vegetación estudiada</i>	<i>m² de hoja por</i>	<i>cada m² de superficie</i>
césped:	3 cm de altura	6 m ²
	5 cm de altura	9 m ²
pradera con pastos	60 cm de largo	225 m ²
techo de pasto en verano		más de 100 m ²
Sedum hasta	8 cm de altura	1 m ²
Sedum muy denso hasta	10 cm de altura	2,4 m ²
Vid silvestre en fachadas:	10 cm de espesor	3 m ²
	20 cm de espesor	5 m ²
Hiedra en fachadas:	25 cm de espesor	11,8 m ²

Inclinación del techo:

La inclinación de la cubierta y la elección del tipo de vegetación son determinantes para la construcción de un techo verde. En techos planos sin suficiente espesor de sustrato y sin adecuada capa de drenaje, con las fuertes lluvias se presenta el problema del estancamiento del agua que resulta perjudicial para muchos tipos de plantas principalmente pastos, ya que el exceso de agua ahoga la raíz. Por otro lado, los techos verdes con gran inclinación, drenan el agua con demasiada rapidez por lo que, muy probablemente las raíces no tengan tiempo suficiente para absorber los nutrientes necesarios y se sequen (Placitelli, 2010).

Se recomienda la construcción de techos con inclinación mínima del 5% para facilitar el drenaje. En techos de gran longitud con más de 40% (22°) de pendiente, deben tomarse precauciones especiales para impedir el deslizamiento del sustrato (Minke 2010).

Tabla N° 2. Conversión de valores de inclinación de techo en % y grados, y viceversa.

Fuente: Minke (2010) pág. 25.

%	<i>grados</i>	<i>grados</i>	%
5	2,90	3	5,20
10	5,70	5	8,80
15	8,50	10	17,60
20	11,30	15	26,80
30	16,70	20	36,40
40	21,80	25	46,60
50	26,60	30	57,50
60	31,10	35	70,00
80	38,70	40	83,90
100	45,00	45	100,00

Tipos de cultivo:

Si bien puede cultivarse una huerta con verduras y hortalizas sobre un techo plano, los vientos fuertes, la insolación excesiva y la escasa altura del sustrato no siempre brindan las condiciones adecuadas para la supervivencia de las plantas. Sin embargo, es posible cultivar hortalizas en recipientes especiales y con sistemas de riego adecuados

en los muros de áreas protegidas del viento y del excesivo sol. (Ver muros verticales hidropónicos, Minke, 2012).

Consideraciones en cuanto a la carga de uso:

Para dimensionar la construcción del techo verde, debe tomarse en cuenta como carga permanente el peso total de la estructura portante, el sustrato en estado de saturación de agua y también la carga de la vegetación, evitando sobrepasar la capacidad de carga admisible del material de soporte estructural. En los techos extensivos con sustrato de drenaje poroso que no sobrepasen los 10 cm de espesor total en estado de saturación de agua, pueden considerarse 100 kg/m² (Minke, 2010).

Importancia del desagüe en los techos verdes:

El desagüe se produce especialmente a través del sustrato, aunque, si la capa de sustrato es fina o la lluvia muy copiosa, también pueden producirse corrientes de agua en la superficie. Según las normas alemanas DIN 1986 parte 2, c.p. Minke (2010), deben tomarse los siguientes valores de desagüe de aguas pluviales para superficies de techos ajardinados (cantidad de agua que drenan de los techos verdes):

- a) Para verdeados intensivos: 0,3 (deja correr el 30% del agua caída)
- b) Para verdeados extensivos con espesor de sustrato mayor a 10 cm: 0,3 (30%)
- c) Para verdeados extensivos con espesor de sustrato menor a 10 cm: 0,5 (50%)

Katzschner (1991), c.p. Minke (2010), destaca sobre el tema algunas mediciones realizadas en la Universidad de Kassel que dieron como resultado que, por ejemplo, un techo de pasto con 12° de inclinación (21.12 % de pendiente) y 14 cm de espesor de sustrato, desagua menos del 30% del agua caída de lluvia, lo demás es absorbido o evaporado a la atmósfera.

El tránsito de personas en los techos verdes:

Los techos verdes con cultivo extensivo no se construyen para utilizarse como espacio de tránsito para las personas, y solo debe ser pisados durante acciones de control y cuidado especialmente para la erradicación de raíces leñosas que pudieran germinar o la lucha contra la incubación de parásitos; de otro modo, deben instalarse camineros con plataformas de madera o metal para el tránsito. Es diferente el caso de los cultivos intensivos donde sí se prevén equipamientos para el tránsito de personas, un sustrato de mayor espesor, sistemas de riego y aportación de nutrientes, cuidados y mantenimiento adecuados.

Disponibilidad de los materiales:

Otro aspecto importante a considerar al diseñar un techo verde tiene que ver con la disponibilidad de los materiales necesarios en las proximidades del sitio de la construcción. El material a utilizar para la estructura portante, debe estar disponible en el mercado en las medidas y secciones necesarias. En el caso de la madera, deben ser de calidad adecuada para soportar los esfuerzos de este tipo de cubiertas, con los

largos y secciones necesarias a precio accesible. Las estructuras metálicas constituyen otra opción, en cuyo caso hay que compatibilizar lo estético y lo funcional integrándolas al diseño, o escondiéndolas por medio de revestimientos. Si se trata de hormigón armado, hay que tomar en cuenta la disponibilidad de sus componentes y un cálculo para que la estructura tenga la fortaleza necesaria para soportar el techo en su condición más crítica, es decir, empapado en agua por un tiempo prolongado. Puede optarse también por estructuras prefabricadas fácilmente transportables hasta el lugar de la obra si los costos del flete son accesibles. El adobe y el ladrillo pueden utilizarse como material portante en los muros, o como bovedillas, bóvedas o cúpulas para contener el sustrato. Las posibilidades están condicionadas por la imaginación del diseñador y el aprovechamiento que se haga de los materiales locales.

Mano de obra:

Según Placitelli (2010), un aspecto no menos importante al momento de la construcción del techo verde, lo constituye la mano de obra disponible en el sitio. Si bien el cargado del techo en sí no constituye una tarea difícil si se cuenta con la dirección adecuada, la fabricación de la estructura portante sí lo es. En el caso de estructuras de madera, el personal deberá tener experiencia para realizar los encastres, rebajes y ajustes que requiere esta tecnología. Probablemente lo más conveniente sea adoptar sistemas constructivos sencillos, salvo

que se disponga de mano de obra especializada para montar estructuras de bambú o estructuras de madera en forma de rollizo, más complicadas de realizar que las de la madera aserrada.

Elementos que intervienen en la construcción

Estructura portante y aislación hidrófuga

La estructura portante puede realizarse con una gran variedad de materiales que van desde la madera, el metal, el hormigón armado, los ladrillos, el bambú, o la combinación de uno o más de estos materiales. La elección tiene que ver principalmente con la disponibilidad de los materiales en las cercanías, y la presencia del personal idóneo para su ejecución y montaje.

Membrana hidrófuga para aislación del techo y protección contra la perforación por raíces

Las membranas bituminosas soldables (membrana asfáltica) con o sin protección de aluminio y con solapes de al menos 10 cm, habitualmente utilizados para realizar la aislación hidrófuga, necesitan para el caso de los techos verdes una protección extra contra las raíces y otros ataques. Experimentos realizados (Pennigsfeld & otros, 1981, c.p. Minke, 2010), demostraron que las membranas asfálticas pueden ser atravesadas por las raíces, y que ciertos microorganismos que viven en las puntas de estas raíces (micorrizas), pueden disolver los materiales bituminosos de que están compuestas las membranas. Por lo general la presencia de agua capilar depositada en los pliegues de éstas, es la

causante de que las raíces traten de perforarlas al percibir las a través de sus sensores la humedad. Para vencer estos ataques, la solución más sencilla consiste en colocar una lámina de polietileno de relativo espesor (200 a 400 μ). Si las juntas entre lámina y lámina de polietileno no van soldadas en caliente, deben preverse solapes doblados de al menos 100 cm, ya que en estos solapes se mantiene por mucho tiempo el agua capilar y las raíces crecerán dentro. Otra opción especialmente para techos verdes intensivos, consiste en utilizar láminas entramadas de polietileno de alta densidad parecidas a las vinilonas, pero más rígidas. Éstas vienen con ancho de 2 m, y necesitan solapes de al menos 25 cm entre una y otra, llenándose las uniones con masilla especial para juntas.

Minke (2010), cita opciones para protección contra raíces que se consiguen en tiendas de Europa, y también en Sudamérica:

Membranas polímero-elastómero bituminosas: Se elaboran con una mezcla de asfalto y materias sintéticas.

Membranas de PVC (normas alemanas DIN 16938, 16730, 16735): Están hechas de PVC blando y no resisten al asfalto, polystrol, o a los productos aceitosos utilizados para proteger la madera. Para evitar su rápido deterioro, debe separarse la membrana de PVC de los materiales bituminosos con un material sintético o manta de fibra de vidrio de 200g/m² como mínimo, o una lámina de polietileno de 200 μ de espesor (Aislapol de 200 micrones). Para los techos verdes, se

recomienda reforzar la trama colocando una membrana de PVC (vinilona), pues éstas por el entramado de polyester que poseen, son muy resistentes a las potenciales averías.

Membranas de polietileno clorado (norma alemana DIN 16737): Tienen muy alta resistencia, pero por su rigidez, no permiten hacer uniones (doblados) resistentes a las raíces en los quiebres, por lo que deben preverse solapes muy grandes para impedir que crezcan raíces a través de ellas (150 cm o más).

Membranas EPDM: Contienen etileno, propileno, terpolímero y caucho. Se caracterizan por su alta elasticidad, pero resulta difícil unirlos herméticamente en las juntas.

Sellados fluidos: Se emplean diversas capas de poliuretano o resinas de polyester aplicadas en líquido, los que, con suficiente espesor, son bastante resistentes a las raíces.

Lo más recomendable por costo y resistencia como membrana protectora anti raíces en Europa suele ser el tejido de polyester revestido con PVC de 2 mm de espesor. En América Latina se utilizan frecuentemente las telas vinílicas estructuradas con polyester (vinilonas) de 1 mm de espesor, o las planchas negras de polietileno de alta densidad de 200 a 400 μ (Aislapol de 200 a 400 micrones), pero en este caso, hay que prever en los solapes entrecruzamientos de 50 a 150 cm según el tipo de verde a ser aplicado, para evitar que sean rebasadas por las raíces.

Protección contra daños mecánicos

Para absorber riesgos mecánicos producidos por la base donde se apoya la membrana hidrófuga, es importante colocar una capa de arena fina lavada, o tela de polyester entre la base y el aislante, de manera a evitar que las rugosidades dañen la membrana, ya que éstas son muy sensibles a la perforación o a los cortes. Si la membrana protectora contra raíces es rugosa o desigual, también habrá que colocar una lámina de polietileno entre la membrana anti raíz y el aislante hidrófugo al mismo efecto. Este tipo de protección adicional no suele ser necesaria para membranas impermeables de techo con fibra reforzada de 2 mm de espesor, que sirven al mismo tiempo como aislante y protección contra las perforaciones de raíces.

Capa de drenaje

La capa drenante tiene la función de extraer el excedente de agua del sustrato, pero al mismo tiempo, almacenar agua para los días muy secos. Para esto se utilizan materiales porosos y livianos como granos gruesos. Minke (2012), cita elementos como cáscara de arroz, arcilla expandida, pizarra expandida, lava expandida, piedra pómez, o materiales reciclados de escoria o ladrillo común. Para lograr el efecto de almacenamiento de humedad deseado, los materiales deben ser porosos y livianos a fin de evitar sobrecargas. En techos planos o poco inclinados, la capa de drenaje se cubre normalmente con un fieltro o tela permeable (Geotextil) que impide que el sustrato se vuelva lodo y

pase a colmatar la capa de drenaje. En techos con fuerte pendiente, normalmente no se utiliza la capa drenante ya que, por la misma inclinación, se facilita el efecto de drenaje. Además, la mezcla del sustrato con el material drenante presenta otras ventajas como: evitar que el sustrato se deslice al estar más estructurado, y para las raíces resulta un medio húmedo al cual echar mano en los días muy secos.

A la capa de soporte de la vegetación donde actúan las raíces se denomina sustrato. Éste aporta nutrientes, almacena el agua y debe contener suficiente aire en los poros para que ofrezca a las raíces la posibilidad de aferrarse. Para verdeados extensivos, conviene que el sustrato no contenga mucho humus. En caso de utilizarse tierra del suelo, conviene mezclarlo con arena lavada para empobrecerla, caso contrario, la hierba crecerá en exceso ahogando a las plantas. Minke (2010), cita el caso de una experiencia en Hannover, donde el sustrato contenía demasiados nutrientes, los pastos crecieron hasta alcanzar 70 cm de altura y fueron castigados por el viento secándose rápidamente, además se tupió tanto que ya no era posible ningún crecimiento posterior. Después del ralearla, la vegetación se regeneró nuevamente¹.

¹ Un caso parecido tuvimos en la experiencia con techos verdes realizado en la Universidad Columbia del Paraguay, sede España, en 2011, que se cita más adelante en este mismo material.

En sustratos de 10 a 15 cm de espesor es importante mezclar los suelos grasos (con mucho humus), con arena lavada en una proporción del 40:60%, o 50:50% a los efectos de empobrecerlo, de manera que las hierbas no tengan un largo mayor a 25 a 30 cm. Para techos planos o de poca inclinación, conviene dividir el sustrato en dos capas, la primera (inferior) incorpora el material drenante (piedra pómez, escoria, cascotillos, cáscara de arroz) con la tierra empobrecida, en la segunda capa (superior) solo irá la tierra empobrecida con arena lavada en una proporción 50:50%. Cuando el manto del sustrato es de mayor espesor (8 a 10 cm en cada capa), conviene separar ambas con un geotextil permeable.

Si se busca un buen efecto de aislación térmica interior, conviene que el sustrato no sea muy delgado, 8 a 15 cm de espesor total resultan suficientes. Con espesores muy escasos, aumenta el riesgo del secado de las plantas por el sobre calentamiento del sustrato, especialmente en techos orientados directamente hacia el sol. En cambio, con espesores mayores se aumenta innecesariamente el peso en la estructura, además del riesgo de que germinen especies arbustivas cuyas raíces leñosas dañen la membrana de aislación.

Vegetación

Para la elección del tipo de vegetación deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Espesor del sustrato y su efectividad para el almacenaje de agua

- Inclinación del techo, cuanto más empinado es el techo necesita mayor efectividad en el almacenamiento y retención de agua, sumado al riesgo de corrimiento del sustrato
- Exposición al viento (aumenta la evaporación, secando más rápido el verde y el sustrato)
 - Orientación (los techos inclinados hacia el sol, se secan más rápidamente)
 - Sombra (la falta de luz solar adecuada en muchos casos marchita el verde)
 - Cuantía de precipitaciones (tomar en cuenta los sectores donde no alcanza la lluvia)

Además, habrá que considerar otros factores de importancia como:

- Efecto de aislación térmica que se busca
- Efecto de enfriamiento en verano
- Aislación acústica deseada
- Gastos de mantenimiento
- Aspecto estético o de ornamentación deseados

Con los techos verdes no sólo se buscan beneficios estéticos, también efectos físico-constructivos como: aislación térmica, protección del calor en verano, protección acústica, etc.; efectos ecológicos: mitigación de desagües pluviales, limpieza del aire; efectos

constructivos: protección contra la radiación UV, mitigación de las variaciones extremas de temperatura, etc.

Para lograr esto deben buscarse matas de vegetación densas y de altura uniforme. Esto se logra con pastos silvestres o una mezcla de pastos y hierbas silvestres rústicas.

Para seleccionar la vegetación adecuada, se toman en cuenta los siguientes criterios:

- Resistencia a las sequías
- Resistencia a las heladas (si hay heladas)
- Altura de crecimiento 10-30 cm
- Puntos de floración no mayores a 40 cm
- Formación del colchón vegetal con fuerte desarrollo en altura y mínimo crecimiento a lo ancho, esto no debe estar condicionado a la calidad del suelo.

Métodos de cultivo de la vegetación

Para el trasplante del verde pueden utilizarse los siguientes métodos:

Gajos: Los tipos de Sedum (suculentas) se cultivan generalmente con trozos de retoños (partes cortadas de las plantas). Prenden fácilmente y pueden soportar períodos largos de sequía. Para el cultivo por gajos se necesitan alrededor de 40 retoños por cada m² de superficie.

Césped listo (césped en rollo prefabricado): Cuando la superficie a cultivar es grande, se recurren a empresas que producen césped en

rollo, los anchos disponibles en promedio van de 0,50 m a 1,00 m; el espesor del sustrato con el que vienen es de aproximadamente 2 cm.

Mantas de vegetación: Las mantas se arman con fieltro, redes o mallas de hilo trenzado que fijan las raíces a un sustrato de pequeño grosor. Contienen diferentes mezclas de musgo, suculentas, pastos, hierbas y plantas de bulbo (cebollinos). El espesor del sustrato asciende de 1,5 a 3,5 cm y las dimensiones máximas de las mantas son de 1,00 x 1,00 m.

Panes de césped: En techos con pendientes importantes pueden emplearse panes de césped (de 25 x 25 ó 30 x 30 cm c/u.). En nuestro medio es el sistema más práctico de trasplante. Si están bien enraizados, pueden apilarse sobre la misma superficie del techo en construcción uno encima del otro sin que resbalen, por lo general se disponen cara empastada con cara empastada, apilándolas una encima de la otra, en esta etapa, conviene no regarlas. El sustrato que le acompaña suele tener de 2 a 3 cm. En los huecos que quedan entre pan y pan tras la colocación, se pueden plantar matas rústicas (Azulinas, Érikas), para fortalecer la vegetación.

Placitelli (2010), cita algunas preguntas frecuentes planteadas al construir un techo verde.

1. ¿Puede hacerse un techo verde sustituyendo un techo existente?

Por lo general sí. El grado de complejidad de la obra y por lo tanto su costo y viabilidad dependerán de las características del techo

anterior. Si se trata de un techo liviano, probablemente habrá que reforzar o sustituir la estructura portante; si se trata de una buena losa de hormigón transitable, usualmente no requieren tareas de refuerzo pudiendo armarse el techo verde directamente encima de éstas, considerando todos los detalles como: aislación hidrófuga, membrana anti raíces, drenajes, etc.

En todos los casos, habrá que realizar antes los cálculos correspondientes, para evitar daños estructurales posteriores.

2. ¿Qué pendiente admiten estos techos?

Los techos verdes admiten una gran variedad de formas y diseños, sin embargo, conviene que la pendiente de los mismos sea reducida (menos de 20° o 35 %) para facilitar su armado y bajar su costo. Como permiten pendientes más pequeñas que otros sistemas de cubierta (5-20 %), pueden compensar la estructura más resistente que requieren, con una disminución de la superficie final.

3. ¿Se necesita un pasto especial?

Por lo general no, cuanto más rústico sea el césped empleado, mejores resultados se obtendrán, y mucho más si la vegetación fue removida del mismo sitio donde se realiza la obra.

Los pastos silvestres suelen ser más densos y presentan mayor superficie de hoja por metro cuadrado de suelo que aquellos más refinados, por lo que es más recomendable su uso.

En algunos casos especiales, por varias razones (régimen de vientos, lluvias, inclinación del techo, etc.) habrá que hacer ensayos hasta encontrar la especie vegetal que mejor se adapte.

Cuidados para el mantenimiento de un techo verde

Placitelli (2010), brinda algunos consejos prácticos acerca del mantenimiento:

Referente al riego: Depende de la calidad del pasto empleado. En general para techos verdes extensivos no se necesita riego, particularmente si el césped es del mismo sitio pues está adaptado al microclima local y seguramente resiste los períodos de sequía locales. Siendo así, aunque sequen, con la primera lluvia se recuperarán. Si la calidad del pasto es muy fina, puede ser conveniente regarlo. En ese caso, deben preverse instalaciones de agua para dicho fin.

Hay que recordar que, la acción aislante del techo y las ventajas aportadas, sólo se producen cuando la vegetación está verde y realiza normalmente sus procesos de vida.

Referente al uso de fertilizantes: En los cultivos extensivos, una vez que el pasto desarrolló sus raíces, cumple su ciclo normalmente y no necesita fertilizantes de ningún tipo. El agua y el aire le proveen los nutrientes necesarios para el normal desarrollo de la vegetación. No es aconsejable agregar fertilizantes puesto que esto altera el equilibrio del sistema y puede originar crecimientos excesivos de la vegetación.

Referente al tránsito de personas: Normalmente los techos verdes extensivos no están diseñados para el tránsito de personas, salvo un tráfico ocasional debido principalmente a razones de mantenimiento o control de la vegetación. Si el sustrato no está empapado por una lluvia reciente, es posible que una o dos personas puedan desplazarse sobre él sin dañar el sustrato o la vegetación. En techos de cultivo intensivo de poca pendiente que se utilicen como terrazas, el tráfico deberá estar previsto en el diseño, y la estructura, así como el sustrato deberán prepararse para recibir, soportar y distribuir el peso y roce adicional del tránsito.

Referente a la necesidad de poda de la vegetación: Por lo general en los techos verdes extensivos no resulta conveniente y hasta podría ser contraproducente podar el pasto, salvo que este haya tenido un desarrollo excesivo. Al podarlo, habrá que dejar las hojas con una longitud mínima de 15 a 20 cm para evitar que el sustrato se seque y mueran las plantas, y luego, regarlo por varios días hasta que el sistema se regenere naturalmente. En los cultivos extensivos bien desarrollados, es normal que la hierba crezca hasta unos 30 a 40 cm. Cuanto mayor sea el espesor de esta capa vegetal, más eficiente será su acción de aislamiento térmica, filtrado del aire, retención del ruido etc. Si bien el pasto puede cortarse por razones estéticas, debe tenerse en cuenta que esto afecta la eficiencia térmica y su propia supervivencia. Regarlo solo es recomendable en casos de gran sequía, ya que un pasto bien crecido

condensará la humedad del rocío y lo mantendrá por un largo período. Un pasto seco no significa necesariamente pasto muerto, y el techo cumplirá igualmente con su función aislante, y por lo general, con la primera lluvia, la vegetación recuperará su color y actividad original.

En los techos verdes intensivos, al contemplarse el riego y abonado artificial permanente, puede podarse la hierba por razones estéticas sin demasiado daño para el sistema.

Vigilancia de raíces: El principal enemigo de un techo verde lo constituyen las raíces de árboles o plantas que puedan perforar la membrana impermeable. Por eso habrá que estar atentos a la aparición de variedades arbustivas que puedan poseer raíces profundas para arrancarlas de inmediato. Esto es particularmente importante cuando existen árboles en las cercanías que puedan depositar sus semillas en él, o a la acción del viento y las aves que puedan transportarlas hasta el sitio del techo verde.

Limpieza de los drenajes: Es importante mantener limpios los desagües del borde inferior de los techos para asegurarse que el agua drenada está bien filtrada, y no se pierde tierra cuando llueve en abundancia. Normalmente las raíces del pasto ejercen una retención eficaz del sustrato y por lo tanto no existe riesgo de que el techo se quede sin tierra suficiente, sin embargo, si el geotextil se ha desplazado, puede facilitar el escurrimiento del sustrato colmatando los drenajes y disolviendo los nutrientes.

Vida útil promedio de un techo verde

Tomando los debidos cuidados para preservar los distintos elementos que componen la estructura portante, el tiempo de vida útil de un techo verde dependerá de los cuidados de mantenimiento al conjunto de sus componentes.

En la elección del sistema de impermeabilización del techo deben buscarse dos aspectos fundamentales: que sean perfectamente impermeables y resistentes a las raíces, esto también debe cumplirse con la elaboración de las costuras en los solapes, ya que, en el cuidado de estos componentes radica el principal problema para una vida útil prolongada del conjunto. La solución más barata para la aislación de un techo verde consiste en la instalación de una gruesa lámina de polietileno de 200 a 500 micrones de espesor, pero éstas son fácilmente perforables por raíces, no pueden soldarse y deben estar siempre protegidas contra riesgos mecánicos, tanto por debajo, como por encima de la lámina a través de un fieltro protector.

Las lonas de polivinilo como las que se utilizan para cubrir camiones, hechas de tejido de poliéster con recubrimiento de PVC permiten una buena soldadura en las juntas, y son muy resistentes, pero debe cuidarse que el revestimiento de PVC sea suficientemente grueso, pudiendo adquirirse en el mercado piezas de hasta de 1 mm de espesor. Las láminas de poliéster de 0,2 mm de espesor (200 μ) y 6 m de ancho constituyen otra opción factible.

Las membranas impermeables que constituyen el elemento principal de estos techos cuentan para su protección con el espesor del sustrato (unos 8 a 12 cm de tierra en los techos extensivos) a los que se suma la vegetación, que por medio de la sombra que proyectan, resguardan a las membranas de la radiación ultravioleta ganando así una vida útil prolongada si no son afectados por riesgos mecánicos o la perforación por raíces (Minke, 2010).

La utilización de membranas asfálticas cubiertas con aluminio (40 gr.), agregando polietileno como barrera anti raíces y el geotextil como barrera drenante, mejoran sustancialmente la estanqueidad de las cubiertas, y son fáciles de conseguir en nuestro medio.

Otro aspecto a cuidar una vez resuelto el problema de la humedad es la protección del elemento estructural. Aquí habrá de considerarse el material de que está compuesto. Si se trata de piezas de madera o bambú, los ataques por hongos e insectos xilófagos plantean el riesgo principal por lo que deberán preservarse contra estos riesgos, y proveerles un mantenimiento permanente con barnices resistentes para evitar su deterioro. Los tipos de encastre utilizados y los materiales empleados en las uniones también son claves para brindarles durabilidad.

Si se trata de piezas metálicas, la preservación contra herrumbres y los deterioros por galvanización deben tomarse en cuenta en forma permanente. Para estructuras de hormigón armado, un buen cálculo de

resistencia a las cargas y una adecuada separación entre la armadura interna y el borde exterior resultan fundamentales para evitar el deterioro prematuro. Si se trata de hormigones a la vista, el uso de selladores externos ayuda a su conservación; y si están embutidas en la mampostería, evitar los ataques por álcalis a la armadura interna.

Para estructuras portantes constituidas por muros de albañilería, la humedad producida por capilaridad y la que ingresa de los muros exteriores por la lluvia o la pérdida de tuberías en la instalación constituyen el riesgo principal, fundamentalmente si los ladrillos utilizados fueron fabricados con arcillas que contienen sales, lo que producen su rápido deterioro.

Según Minke (2010), tomando en cuenta los detalles de una buena aislación, correcta ejecución en las uniones, una pendiente adecuada para el drenaje, y las condiciones óptimas para la supervivencia de las plantas, puede lograrse una vida útil casi ilimitada.

Método

El presente trabajo consta de dos partes, una primera con la revisión bibliográfica acerca de los aspectos a considerar con relación a los techos verdes, tomando en cuenta fundamentalmente los criterios aportados por los Arquitectos Gernot Minke y Carlos Placitelli en la bibliografía disponible, y una segunda en la que se relata la experiencia obtenida con la ejecución de ensayos prácticos realizados con

estudiantes de la carrera de Arquitectura de la Universidad Columbia del Paraguay, sede España, en 2011 y 2014.

Experiencias prácticas con estudiantes de la carrera de Arquitectura de la UCP

Se plantearon dos experiencias prácticas, la primera en el año 2011, y la segunda en 2014:

Ira. Experiencia:

La primera experiencia se realizó en el año 2011 luego de un taller sobre el tema presentado por el Arq. Naval uruguayo Carlos Placitelli, con la participación de docentes y estudiantes de la carrera de Arquitectura; para lo cual se construyeron siguiendo las indicaciones del ponente, dos canteros de madera simulando la estructura de un techo verde, ambas piezas con medidas de 3,00m x 1,50m, realizados con tirantes en madera de curupay de 2" x 4" cada 90 cm de separación eje a eje, y tablonos de Ybyrá Pytá de 1" (una pulgada) de espesor como fondo, unidos con tornillos metálicos. Chiossone (2011), relata una experiencia similar realizada con posterioridad ese mismo año con estudiantes de Arquitectura, Ingeniería Mecánica y Civil de la ciudad de Rosario, Argentina, en condiciones similares a la realizada en Paraguay.

Los canteros en esta primera experiencia fueron montados sobre calces en el pavimento, simulando la pendiente de un techo con 30 %

de caída, sus costados también fueron elaborados con piezas de curupay de 2" x 4", unidas al fondo con tirafondos metálicos inoxidables.

Una vez terminada la construcción de ambos canteros, se procedió a lijarlos y tratarlos con insecticida de la marca Penetrol (producida por Otto Baumgart), cuya composición básica incluye Deltametrina y Querosene, ante la carencia en el mercado del preservante típico para estos casos, fabricado en base a Arseniato de cobre cromatado (CCA) para preservarlo de la acción de xilófagos, y fueron terminados con dos manos de pintura al barniz poliuretano.

Una vez secada la pintura se procedió a revestir la parte interior de los canteros con membrana asfáltica y aluminio soldable de cuarenta gramos (4 mm de espesor) como protección hidrófuga, con solapes soldados de 10cm. entre membrana y membrana.

A continuación, y por encima de la membrana soldable a modo de barrera anti raíces, se colocó un film plástico color negro de 200 μ (doscientos micrones) de la marca Aislapol, con solapes de 50 cm., doblados, para evitar que las raíces afecten la membrana asfáltica de la base.

Seguidamente se procedió a instalar los costados, consistentes en tirantes perimetrales de curupay de 2" x 4" para contener el sustrato. Los costados fueron protegidos al igual que las maderas de la base, con insecticida Penetrol y pintura a dos manos con barniz poliuretano, y fijados al fondo por medio de tirafondos metálicos. Un detalle

importante tomado en cuenta en la parte drenante de los cajones, consistió en separar la parte inferior del borde de madera con respecto a la base, con tacos de goma utilizados normalmente para topes de puertas, dejando una luz de separación de 2,5 a 3,0 cm, para asegurar el escurrimiento del agua de drenaje.

El siguiente paso del proceso consistió en colocar el geotextil, en este caso se utilizó tela Bidim RT 8, formando un ángulo entre la base y los bordes de madera.

Luego se procedió a organizar el sistema drenante en la parte inferior de los canteros, elaborando el contenedor de pedregullos con tela sintética media sombra densidad 50 – 65 % en forma de U, a modo de canasta para alojar el pedregullo. El geotextil también debe levantarse contra este drenaje de pedregullos para evitar el corrimiento de tierra. Esto permite el escurrimiento pleno del líquido excedente del sustrato, sin permitir que escape la tierra saturando el canal de drenaje.

Como siguiente paso se procedió a acondicionar el sustrato para la vegetación. A ese efecto se prepararon dos capas con distinta composición de tierra del mismo espesor cada una:

1ª Capa: Se prepararon cascotillos, picando trozos de ladrillo común poroso, los cuales fueron mezclados con tierra gorda y arena lavada en una proporción de 60:40%. La función del cascotillo consiste en retener parte del excedente de agua evitando su drenaje total, esto sirve de reserva de líquido para el sustrato en casos de sequía. Minke

(2012) también sugiere la posibilidad de utilizar cascarillas de arroz como opción. El primer manto con un espesor de 4cm (variable en función al grosor final del sustrato), se alojó sobre el geotextil.

2ª Capa: Consistió en una mezcla de tierra gorda y arena lavada en proporción 50:50%, como manto superior del sustrato. El agregado de arena lavada tiene como fin empobrecer el sustrato, caso contrario el manto verde será muy denso y alcanzará gran altura, dificultando la supervivencia del conjunto. En algunos casos, este empobrecimiento se da mezclando la tierra gorda con gravas del terreno circundante, con el mismo fin de empobrecer el sustrato. A esta capa también se dio un espesor de 4cm, totalizando el sustrato: 8cm, (debe considerarse también la base terrosa del pasto en panes, con lo que se completan 10 cm bajo el manto verde).

El espesor del sustrato depende del tipo de vegetación a cultivar, y si este será de tipo intensivo o extensivo. Cada una presenta condiciones distintas de ejecución y mantenimiento.

El *cultivo extensivo*, es aquel que no plantea el crecimiento de la mata verde con aplicación de fertilizantes ni riego artificial, por lo general incorporan vegetación natural del sitio sin recurrir al uso de plantas ornamentales. Son de auto sostenimiento y poseen un sustrato de menor espesor, (5 a 20 cm.). Los techos verdes no transitables en general responden a estas características.

En contrapartida el techo verde de *cultivo intensivo*, incorpora el concepto de jardines de ornamentación, por lo cual los tipos de vegetación son selectivos, el empastado se recorta permanentemente, en ocasiones incorpora vegetación arbustiva lo cual obliga a un mantenimiento más esmerado, la poda ornamental, un sustrato de mayor espesor (20-30 cm. o más) y un sistema de riego permanente además de la aplicación de nutrientes. Para nuestra práctica se adoptó el sistema de techo verde de tipo extensivo.

Como etapa final se procedió a la colocación del pasto en panes, intercalando plantas de manejo rústico. En el primer cantero se cultivó pasto de la variedad Capií o Gramilla, con la incorporación de Azulinas y Érikas. En el segundo cantero se cultivó pasto de la variedad brasilera, con la incorporación también de Azulinas y Érikas. La idea era verificar a través del tiempo, cuál de estos tipos de césped se adaptaba mejor al sitio con bajo o nulo mantenimiento. El empastado de ambos canteros fue regado en forma diaria durante 15 días para asegurar el enraizamiento adecuado, y luego se lo dejó librado exclusivamente al remojo por lluvias.

Proceso de construcción, y elementos componentes:

- 1.- Base de madera a modo de estructura portante, conforme a indicaciones de construcción.
- 2.- Membrana Asfáltica soldable de 4 mm (40 gramos), colocada adecuadamente.

3.- Film aislante plástico (Aislapol 200 μ o más), evita que raíces afecten la membrana asfáltica.

4.- Geo textil para facilitar el drenaje (Velo de poliéster RT 8 o RT 10), es inerte e imputrescible.

5.- Dos capas de tierra de sustrato:

1^a Capa: Cascotillo de ladrillo picado mezclado con tierra gorda, capa de 4 cm. de espesor.

2^a Capa: Arena lavada mezclada con tierra gorda, porcentaje de mezcla 50 % para cada una.

6.- Pasto en panes: Variedad capi-í o gramilla, y brasillero, con mezcla de malezas silvestres. Por 15 días se le dio un riego único por día para facilitar el enraizamiento, dando así cumplimiento a la teoría revisada en la bibliografía, y a lo expuesto en los seminarios.

7.- Canal de drenaje con canto rodado o piedra triturada. Lleva un trozo de malla media sombra dens. = 50 o 65 %, envolviendo en forma de U al drenaje, a modo de contenedor (Ver flecha).

8.- Perfil de borde: De madera dura, tratada contra la humedad e insectos. Su función es contener todo el conjunto para evitar el deslizamiento. En la parte inferior drenante debe ir separada del fondo, por unas juntas de goma de 2,5 a 3cm, al efecto de separar el borde protector de su base y permitir el escurrimiento del agua para que no pudra la madera. Toda la madera debe ser tratada con insecticidas y barniz protector (Barniz naval o poliuretano para mayor duración).

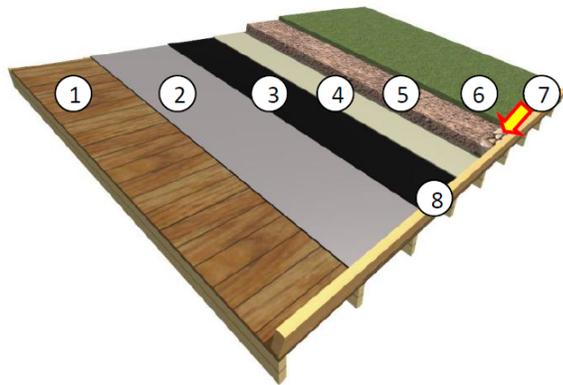


Fig. 3. Elementos componentes y detalle de fabricación del techo verde. Fuente propia (2011).

Seguimiento al proceso de evolución de la práctica:

Una vez transcurridos quince (15) días de riego diario, se suspendió toda actividad de mantenimiento y pudo constatar que las variedades cultivadas en ambos canteros evolucionaron muy bien, y duraron así por dos años con cuidados mínimos o nulos, solamente se extraían de vez en cuando los brotes de plantas arbustivas que caían al sustrato arrastrados por el viento, para evitar que las raíces leñosas dañen la aislación. El pasto creció en un ambiente rústico hasta alcanzar 25 a 30cm de longitud en ambos casos, con la incorporación de otras hierbas cuyas semillas eran traídas por el viento. Pudo notarse que, independientemente de la estación climática, el sistema prosperaba adecuadamente, tornándose cada vez más rústica.

Durante las vacaciones de invierno de 2013 (dos años después), a los muchachos de jardinería no se les ocurrió mejor idea, dado el estado “salvaje y poco ornamental de la experiencia” que, dar una poda al pasto de ambos canteros hasta dejarlos con no más de 10 cm de longitud de hoja. Por supuesto esto no gustó a las raíces, y con el viento seco y sin lluvia de los meses de julio-agosto, y la insolación, se secó el sustrato y en consecuencia las raíces, por lo que, por un tiempo quedaron los canteros pelados y sin rastros de la vegetación original.



Fig. 4 Gráficas de la recuperación tras la poda sufrida en 2013.

Fuente propia (2013).

Decidimos aguardar a ver qué pasaba, y al poco tiempo y para sorpresa nuestra, comenzó a regenerarse la vegetación de manera espontánea, pero con otro tipo de matas, totalmente rústicas y de aspecto diferente a la vegetación original.

Durante el lapso de tiempo que duró la experiencia relatada, se realizaron con ayuda de la Arq. Beatriz Franco Paats, mediciones de temperatura del ambiente circundante, del manto verde, y del

pavimento en la parte inferior de los canteros, encontrándose una diferencia de al menos 10°C entre la temperatura ambiente y la del pavimento bajo los canteros. Para la toma de muestras de temperatura, se utilizó un medidor térmico infrarrojo: Professional Infrared Thermometer Tek 4 Ryobi de procedencia americana.

2da. Experiencia:

La segunda experiencia se basó esencialmente en los logros obtenidos tras el primer ensayo, y se realizó en el mes de octubre de 2014 (Poco más de tres años después de la primera), en el mismo patio central de la Universidad Columbia del Paraguay sede España, a escasos metros de su emplazamiento original. Los estudiantes de Arquitectura prestaron su concurso como voluntarios, aplicando en la práctica lo aprendido en la teoría luego de otro seminario sobre el tema realizado por los docentes Arq. Luis Emilio Barrios y Arq. Roque Ismael Cabral.

Consistió en utilizar los mismos canteros de madera, recuperados tras extraer totalmente los restos de sustrato y aislantes utilizados para la 1ra. Experiencia, dado su excelente estado de conservación. Para aumentar el realismo de la práctica, esta vez se armó una estructura portante de madera, de modo que los canteros se ubiquen a una altura de al menos 3,00 m, por sobre el nivel del suelo, es decir en condiciones más reales de la altura mínima de uso.

Para el efecto, se diseñó una estructura portante en madera de curupay cepillada, cubriendo un área de 3,00 x 3,00 m, de modo a aprovechar ambos canteros juntos como cobertura del conjunto, dando al techo doble pendiente.

Como primera medida, se procedió a limpiar ambos canteros removiendo los elementos utilizados para la primera experiencia, lo cual incluyó la remoción de sustratos y la capa vegetal, las aislaciones correspondientes, y el reaseguro de uniones de las partes de madera.

Tras ajustar las uniones y retocar los acabados de pintura protectora de la madera, se procedió a colocar la nueva membrana asfáltica para el sello hidrófugo, se insertaron los nuevos puntales de madera convenientemente empotrados en el suelo con fundaciones de hormigón, y el ensamblado de la estructura portante, izando y fijando los canteros en su nueva posición.

La estructura quedó dispuesta de tal manera que, además de cumplir su cometido de ensayo de construcción ecológica, cumpla una función de uso permanente que obligue a su conservación.

DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LA ESTRUCTURA PORTANTE

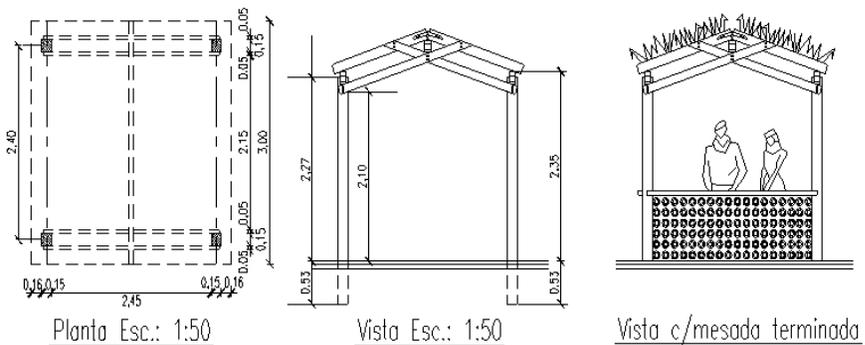


Fig. 5 . 2da experiencia de techo verde. Diseño de la estructura portante. Fuente propia (2014).

En tal sentido, el espacio inferior fue habilitado como stand, dotándosele con instalación eléctrica de iluminación y toma corrientes básicos. Además, con los estudiantes de 2° año, se construyó un muro con botellas recicladas hasta una altura de 0.80 m, a la que se agregaron remates conformando una mesada en forma de L.

En cuanto a los cancheros, una vez realizada la colocación de la membrana asfáltica soldable de 40 gramos con solapes de 10 cm entre pieza y pieza para brindar suficiente estanqueidad, se procedió a colocarle la barrera anti raíces con el film plástico Aislapol de 200 μ . Esta barrera anti raíces también puede fabricarse con caucho expandido o lona vinílica de alta resistencia. Es importante que el material utilizado como barrera anti raíces rebasa en los costados del alero generando un sobrante de al menos 10 a 15cm a los lados, de manera

que actúe como goterón impidiendo que el agua alcance la estructura portante de madera, pudriéndola con el tiempo.

Como siguiente paso, se procedió a colocar los bordes perimetrales en madera de curupay cepillado de 2" x 4", fijadas a la base, por medio de tirafondos de acero inoxidable con arandelas de goma. Hay que destacar que, como la vez anterior, en la parte inferior de cada vertiente se colocaron nuevamente los separadores de goma, de tal manera que los bordes de ambos lados inferiores queden separados de la base aislada al menos por 2,5 a 3cm, permitiendo así que el excedente de agua escurra del sistema de drenaje al exterior.

Sobre la barrera anti raíces, y envolviendo la cara interior de los bordes de madera, se colocó el geotextil permeable (Tela Bidim RT 8), que permite el paso del excedente de agua, pero no la tierra del sustrato hacia el canal de drenaje, compuesto éste por pedregullos de canto rodado en los bordes inferiores de ambas vertientes, siempre contenidas con mallas sintéticas media sombra de 50-65 % de densidad.

Los estudiantes prepararon cascotillos de ladrillo común poroso para retención de la humedad, los cuáles fueron mezclados con la primera capa de sustrato, preparada con tierra gorda y arena lavada en una proporción de 60:40 %, con 4 cm de espesor. La segunda capa consistió en una mezcla de tierra gorda y arena lavada en proporción de 50:50 % ya sin los cascotillos, también ésta tuvo un espesor de 4 cm. Con esto, el sustrato totalizó 8 cm de espesor.

Cabe recordar, que con pendientes mayores al 35 %, conviene colocar barreras antideslizantes para el sustrato de tierra. Estas barreras, consisten en listones de madera sin tratamiento alguno, colocadas en sentido transversal a la pendiente, clavadas solo a los costados contra los bordes para no afectar la aislación, su función radica en impedir el deslizamiento tanto del sustrato como del manto verde, hasta que las raíces de la capa vegetal crezcan lo suficiente y lo fijen permanentemente. Por este motivo los listones de madera no se aíslan, y van pudriéndose con el tiempo aportando nutrientes a la capa vegetal, dándose la desintegración total cuando el enraizamiento ha convertido el sustrato en una capa homogénea y estructurada. Como en nuestro caso la pendiente no superó 30 %, no se agregó dicha barrera.

Ajustados los detalles previos se procedió a colocar la capa vegetal en ambos canteros, consistente en pasto en panes como en la oportunidad anterior. A estos panes se fueron intercalando plantas rústicas como Azulinas, Érikas, etc. En los bordes expuestos se colocaron algunas hierbas ornamentales resistentes a la sequía, como clavitos, suculentas, etc. El objeto de colocar estas plantas en los bordes, obedeció a la necesidad de impedir que el viento seque rápidamente la capa vegetal antes que las raíces alcancen un crecimiento adecuado. El verde recibió un riego diario por 15 días, para después dejarlo al cuidado de la propia naturaleza.

La estructura se utiliza actualmente como stand de uso múltiple y puesto de guardia del estacionamiento. La vegetación ha crecido frondosa, sin cuidado ornamental alguno, para que desarrolle la densidad y el largo de hojas que corresponden a un techo verde de tipo extensivo. Las plantas del borde cumplieron su cometido protegiendo la capa verde durante su desarrollo, y a la fecha se encuentran tan frondosas como la mata de hierbas. Bajo el techo verde al fondo de la construcción, se colocó un banner permanente donde figuran impresos los distintos pasos necesarios para la construcción de un techo verde, para conocimiento de los visitantes al sitio (Fig.6).



Fig. 6 Vistas del conjunto durante el proceso constructivo, y una vez acabado. Nótese la exuberancia de la capa vegetal en el techo a pesar del tiempo transcurrido.

Fuente propia (2018).

Conclusión

Los detalles de diseño y ejecución en ambas experiencias realizadas, cumplen con los fundamentos teóricos presentes en la revisión bibliográfica, así como los conocimientos adquiridos en los seminarios realizados, permitiendo a los estudiantes complementar sus experiencias con una valiosa aproximación práctica a la vida real con la construcción de este tipo de cubiertas, dando al mismo tiempo énfasis a una de las premisas básicas de la carrera, las construcciones sustentables y amigables con el medioambiente.

Como aportaciones fundamentales de la revisión bibliográfica y los ensayos prácticos realizados pueden comentarse primeramente en la necesidad de fomentar en los estudiantes, concienciación y buenas prácticas en el cuidado del medioambiente, desde el aula y en la vida real. Además que, de esta manera, se logra desarrollar una de las líneas de investigación de la carrera que hace hincapié en el énfasis brindado a las construcciones sostenibles.

Por otra parte, la revisión bibliográfica, si bien basada en materiales publicados, permiten reunir en un solo material, conceptos básicos sobre el diseño y ventajas que aportan los techos verdes, y aplicarlos en la vida real a través de su ejecución en un ambiente controlado como es el campus universitario.

Por último, y dada la condición extremadamente calurosa del clima en nuestro país, resulta pertinente el incentivo y la construcción

de techos verdes. Es decir, para mitigar el excesivo rigor de la temperatura, y minimizar los gastos en concepto de acondicionamiento térmico. Por otra parte, disminuye la escorrentía del agua de lluvias que forma grandes raudales durante las precipitaciones, considerando que no disponemos de instalaciones adecuadas de desagüe pluvial en las calles. Además, se presenta como una oportunidad de mitigar la excesiva deforestación de matas verdes, por el rápido avance de modernas construcciones no adaptadas al clima, y el deterioro del ambiente por el calentamiento global y la formación de masas térmicas por emanaciones perniciosas de un sistema de transporte no eficiente y ni adaptado a las necesidades de la población.

Referencias

Chiossone, V. (2011). II Taller Intensivo Teórico-Práctico de Construcción de Techos Verdes organizada por jóvenes integrantes del Proyecto Mascaró. Arq. Naval Carlos Placitelli. Santa Fe, Argentina. Obtenido de:

http://capsf.org.ar/web/modulos/serv_al_matriculado/archivos/Valeria_Chiossone.pdf

Kerssen, A. J. (2012). Los techos verdes en los Países Bajos. Mundo Verde Políticas. Róterdam, Holanda. Obtenido de:

[Los_techos_verdes_en_los_Pai_ses_Bajos_Mundo_Verde_Políticas_Techo \[1\].pdf](#)

También en: <http://livingroofs.org/20101122268/world-green-roof-policies...>

Minke, G. (2010). Techos Verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Cali, Colombia. Ed. Merlín S.E. SAS. 2da. Edición. ISBN: 9974-49-323-4

Minke, G. (2012). Muros y fachadas verdes, jardines verticales. Sistemas y plantas. Funciones y Aplicaciones. Cali, Colombia. Ed. Merlín S.E. SAS. 1ra. Edición.

Placitelli, C. H. (2010). Techos Verdes en el Cono Sur. Montevideo, Uruguay. Versión 1. Obtenido de: <https://bioantu.files.wordpress.com/2012/01/techos-verdes-en-el-cono-sur.pdf>