



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TECHOS VERDES

Luzvin Estuardo Osorio Pineda

Asesorado por el Ing. Christian Antonio López Reyes

Guatemala, julio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TECHOS VERDES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUZVIN ESTUARDO OSORIO PINEDA

ASESORADO POR EL ING. CHRISTIAN ANTONIO LÓPEZ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Jeffrey Valentín Rosales Juárez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TECHOS VERDES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 08 de julio de 2014.



Luzvin Estuardo Osorio Pineda

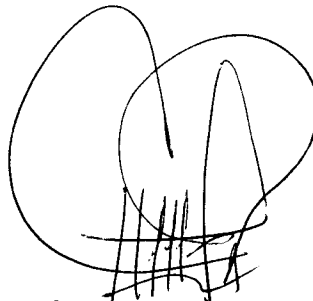
Guatemala, febrero de 2015.

Ingeniero
William Ricardo Yon Chavarría
Coordinador de Área de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero William

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación "INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TECHOS VERDES", elaborado por el estudiante Luzvin Estuardo Osorio Pineda con carné 200412423, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular,

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a series of vertical lines at the bottom, characteristic of a personal signature.

Atentamente,

CHRISTIAN ANTONIO LÓPEZ REYES
INGENIERO CIVIL
COL. 7021

Ing. Civil Christian Antonio Lopez Reyes

Colegiado 7021



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
12 de febrero de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TECHOS VERDES**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luzvin Estuardo Osorio Pineda, quien contó con la asesoría del Ing. Christian Antonio López Reyes.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

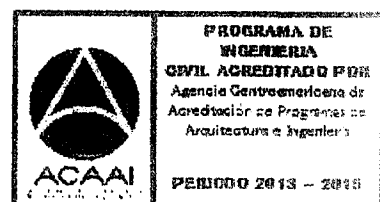
Atentamente,

ID Y ENSEÑAR A TODOS

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría
Jefe Del Departamento de Planeamiento

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Christian Antonio López Reyes y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante Luzvin Estuardo Osorio Pineda, titulado **INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TECHOS VERDES**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

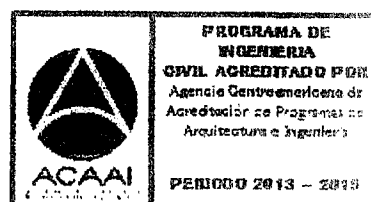

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2015

/bbdeb.

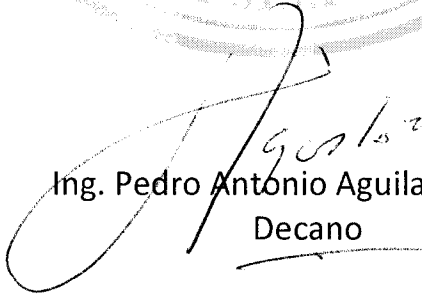
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE TECHOS VERDES**, presentado por el estudiante universitario: **Luzvin Estuardo Osorio Pineda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, 3 de julio de 2015

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Fuente de luz, fe y esperanza, que me das la vida para aprender de ella y apreciar todas las enseñanzas que me brindas cada día.

Mis padres

Baudilio Osorio y Margarita Pineda, gracias por amarme tal cual soy.

Mis tíos

Juan Figueroa y Arturo Figueroa, su confianza y apoyo están en mi mente cada vez que me esfuerzo por salir adelante.

Mis amigos

Sofia Toribio, Julio Hernández, Cristina Herrera, Zeneida Soy, Edgar Piche, Fluvia Martínez, Nills Reynoso, Findley Skeen, Vinicio Mérida, son una parte importante de mí, gracias por su amistad y apoyo.

Christopher Mcandless

Tu vida una inspiración, tu historia algo para reflexionar. Yo también sé lo importante que es en la vida no necesariamente ser fuerte, sino sentirse fuerte.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme progresar y desarrollarme profesionalmente.
Facultad de Ingeniería	Por ser una influencia importante en mi persona.
Ingenio Magdalena S. A.	Por el apoyo brindado durante la elaboración de este proyecto, gracias por invertir en mi trabajo de graduación.
Ing. Cesar Vásquez	Para mí es un honor aprender de un líder como lo demuestra usted cada día frente a su equipo de trabajo. Gracias por sus conocimientos y apoyo.
Compañeros de la Universidad	Gracias por su amistad y compañerismo, en especial a Wilbiar Velásquez, Davis Santos y Pablo Joaquín (q.e.p.d.), llevo cada recuerdo en mi mente como un episodio importante de mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. SISTEMA DE TECHOS VERDES	1
1.1. Definiciones	1
1.1.1. Techos verdes	1
1.1.2. Historia y clases de techos verdes	2
1.1.2.1. Origen.....	2
1.1.2.2. Clases de techos verdes.....	6
1.1.2.2.1. Techo verde tipo extensivo	7
1.1.2.2.2. Techo verde tipo intensivo	7
1.2. Propiedades de instalación de techos verdes	7
1.2.1. Características económicas.....	7
1.2.1.1. Reducción del costo de uso de energía eléctrica	8
1.2.2. Características ambientales.....	9
1.2.2.1. Retención de contaminantes en el aire.....	9
1.2.2.2. Aislamiento acústico y térmico.....	10

1.2.2.3.	Reducción del efecto isla de calor.....	10
1.2.2.4.	Restauración del entorno natural.....	12
1.2.2.5.	Mejoras en la circulación del agua de lluvia	12
1.2.3.	Beneficios en la edificación	12
1.2.3.1.	Incremento en el valor económico de la propiedad.....	13
1.2.3.2.	Protección del entorno de la edificación	13
1.2.4.	Beneficios para las personas	13
1.2.4.1.	Remoción de partículas dañinas para los humanos.....	13
1.2.4.2.	Psicología del techo verde	14
1.2.4.3.	Educación ambiental	14
2.	TECHO VERDE TIPO EXTENSIVO	17
2.1.	Características generales de un techo verde tipo extensivo	17
2.1.1.	Forma y dimensiones	17
2.1.2.	Especificaciones técnicas, económicas, disposiciones especiales y normas Internacionales	18
2.2.	Materiales que conforman su instalación	19
2.2.1.	Membrana impermeabilizante	19
2.2.2.	Sistema drenante	20
2.2.3.	Geotextiles	21
2.2.4.	Sustrato y vegetación.....	22
2.2.5.	Procedimiento de instalación.....	23
2.3.	Propiedades de su instalación.....	24
2.3.1.	Lugares y espacios a utilizar	24

2.3.2.	Recomendaciones generales	25
2.3.3.	Desventajas	28
3.	TECHO VERDE TIPO INTENSIVO	29
3.1.	Características generales de un techo verde tipo intensivo....	29
3.1.1.	Forma y dimensiones	29
3.1.2.	Especificaciones técnicas, económicas, disposiciones especiales y normas internacionales.....	30
3.2.	Materiales que conforman su instalación.....	32
3.2.1.	Membrana impermeabilizante.....	32
3.2.2.	Barrera antiraíces	33
3.2.3.	Sistema drenante.....	34
3.2.4.	Geotextiles.....	34
3.2.5.	Arena blanca.....	34
3.2.6.	Sustrato y vegetación	35
3.3.	Propiedades de su instalación	36
3.3.1.	Lugares y espacios a utilizar.....	36
3.3.2.	Recomendaciones generales	37
3.3.3.	Desventajas	39
4.	PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE UN TECHO VERDE, EN EDIFICACIÓN UBICADA EN INGENIO MAGDALENA	41
4.1.	Requerimientos previos a la instalación	42
4.2.	Propiedades físicas y materiales de la losa a utilizar.....	44
4.3.	Procedimiento de la instalación y tiempo promedio de colocación de capas	49
4.4.	Relación volumen/peso del techo verde en temporal seco y temporal húmedo.....	66

5.	COSTOS, TIEMPO DE INSTALACIÓN Y VIDA ÚTIL.....	71
5.1.	Costos medios de instalación.....	71
5.1.1.	Presupuestos de inversión	72
5.1.1.1.	Techo verde tipo extensivo.....	72
5.1.1.2.	Techo verde tipo intensivo.....	73
5.1.2.	Tiempo promedio de la instalación.....	75
5.1.2.1.	En techo verde tipo extensivo	75
5.1.2.2.	En techo verde tipo intensivo	75
5.1.3.	Vida útil.....	76
5.1.3.1.	Techo verde tipo extensivo.....	76
5.1.3.2.	Techo verde tipo intensivo.....	76
	CONCLUSIONES.....	77
	RECOMENDACIONES.....	79
	BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema de techo verde artesanal en el siglo XVII	3
2.	Techo verde artesanal en Islandia	4
3.	Casa experimental en Universidad de Kassel, Alemania	5
4.	Techo verde instalado en Islandia.....	6
5.	Comparación a la intemperie de un techo tradicional y un techo verde.....	9
6.	Diagrama de comparación de aumento de temperatura en áreas urbanas y rurales por efecto isla de calor.....	11
7.	Techo verde tipo extensivo instalado	17
8.	Diversidad de los materiales a utilizar	19
9.	Instalación de manto de PVC impermeabilizante	20
10.	Forma de un manto drenante.....	20
11.	Diversidad de sistemas de drenantes	21
12.	Geotextil colocado por encima del manto drenante	22
13.	Colocación de capa de tierra y vegetación.....	22
14.	Procedimiento secuencial de colocación de mantos	23
15.	Montaje de la instalación de techo verde extensivo	23
16.	Instalaciones realizadas de techos tipo extensivo I.....	24
17.	Instalaciones realizadas de techos tipo extensivo II.....	25
18.	Procedimiento para evacuación del agua de riego y pluvial.....	26
19.	Techo verde sobre techo de metal	27
20.	Sistema de retención para techos inclinados	28
21.	Techo verde tipo intensivo	30

22.	Membrana impermeabilizante de techo verde tipo intensivo	32
23.	Perforación por una raíz en la unión de dos láminas de PVC de manto impermeabilizante	33
24.	Proceso de colocación de tierra orgánica	35
25.	Techo verde tipo intensivo en edificación con losa inclinada	37
26.	Habilitación de espacios en techo verde tipo intensivo	38
27.	Edificación autorizada para realizar la instalación	41
28.	Planta acotada de casa en donde se realizará la instalación.....	42
29.	Construcción de borde para el inicio de la instalación del techo verde tipo extensivo	43
30.	Diferencias de niveles en la losa donde se realizaría la instalación.....	44
31.	Corrección de diferencias de nivel en la losa.....	45
32.	Colocación de descargas de agua pluvial y de riego	46
33.	Conexiones que interrumpían en la instalación	47
34.	Aislamiento de conexiones por encima de la instalación	47
35.	Acabados finales al área a instalar	48
36.	Colocación de bandas de anclaje en la losa I	49
37.	Colocación de bandas de anclaje en la losa II	50
38.	Colocación de colchón para evitar daños en manto impermeabilizante	51
39.	Proceso inicial de instalación de manto impermeabilizante I	52
40.	Proceso inicial de instalación de manto impermeabilizante II	52
41.	Colocación de manto impermeabilizante de PVC I	53
42.	Colocación de manto impermeabilizante de PVC II	54
43.	Colocación de manto impermeabilizante en bordes	54
44.	Protección de tuberías de conexiones varias.....	55
45.	Colocación de impermeabilizante en descargas de agua.....	55
46.	Colocación del manto drenante I	56
47.	Colocación del manto drenante II	57
48.	Colocación de geotextil.....	58

49.	Colocación de tierra I	59
50.	Colocación de tierra II	59
51.	Espacio para franja de piedrín.....	60
52.	Franja de piedrín	61
53.	Colocación de tepes de grama I.....	62
54.	Colocación de tepes de grama II.....	62
55.	Colocación de protección perimetral en el borde	63
56.	Acabados finales a la instalación	64
57.	Techo verde tipo extensivo ya instalado	64
58.	Techo verde tipo extensivo.....	65
59.	Aparato para la medición de temperaturas	66
60.	Registro de variación de temperatura en la instalación realizada,durante la décimo segunda semana.....	67
61.	Registro de variación de temperatura en la instalación realizada, durante la décimo octava semana.	67

TABLAS

I.	Comportamiento de la variación de temperatura exterior.....	68
II.	Comportamiento de la variación de temperatura interior.....	69
III.	Costo total mano de obra y materiales de los trabajos preliminares	71
IV.	Presupuesto de inversión de tipo extensivo	73
V.	Presupuesto de inversión de tipo intensivo	74

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
PVC	Cloruro de polivinilo
CO₂	Dióxido de carbono
°C	Grados Celsius
Kg.	Kilogramo
lb.	Libra
m	Metro
m²	Metro cuadrado
mm	Milímetros
ft²	Pie cuadrado
%	Porcentaje

GLOSARIO

Aerosol	Se refiere a una material particular fina, de tamaño mayor que una molécula pero lo suficientemente pequeña para permanecer en la atmosfera durante al menos unas horas.
ASTM	Es la Sociedad Estadounidense para Ensayos y Materiales, por sus siglas en ingles. Y es el conjunto de normas que son aceptadas y utilizadas mundialmente en áreas como metales, construcción, energía, medio ambiente, entre otras.
Azotea	Cubierta plana de un edificio sobre la cual se puede caminar.
Bandas de anclaje	Es una banda flexible a base de resinas de cloruro de polivinilo plastificadas, que se utilizan para lograr un anclaje entre la banda y el concreto.
Calentamiento global	Es el calentamiento que se produce cuando ciertos gases de la atmosfera de la Tierra retienen el calor, estos gases dejan pasar la luz pero mantienen el calor como las paredes de cristal de un invernadero.

Caucho líquido	Sustancia que se utiliza para sellar e impermeabilizar superficies como lo son terrazas, muros, tanques, etc.
Ciclo del agua	También conocido como Ciclo Hidrológico, se describe como el proceso cíclico y continuo del agua en la Tierra.
Contaminación	Es el deterioro del ambiente como consecuencia de la presencia de sustancias perjudiciales, tales sustancias se encuentran en el aire, el agua y el suelo.
Fotosíntesis	Es un proceso que transforma la energía de la luz del sol en energía química. Usualmente realizado por las plantas, algas verdes y ciertos tipos de bacterias.
Geotextil	Son telas permeables que cuando se usan en asociación con el suelo, tienen la capacidad de separar, filtrar, reforzar, proteger o drenar.
Habitat	Término que hace referencia al lugar que presenta las condiciones apropiadas para que viva un organismo, especie o comunidad animal o vegetal.
Nitratos	Sustancia natural, esencial para el crecimiento de las plantas.

Rentabilidad	Es la capacidad que tiene algo para generar suficiente utilidad o ganancia.
Sustrato Vegetal	Son una materia sólida, diferente al suelo, que permiten el anclaje de la planta, siendo el lugar donde se desarrollan las raíces, de donde obtienen el agua y los nutrientes básicos para su crecimiento.
Tepes de grama	Pedazo de tierra cubierto con grama que se utiliza para colocarse en jardines y cubrir superficies considerables.
Polietileno	Polímero preparado a partir del etileno, se emplea en la fabricación de envases, tuberías, recubrimientos de cables, entre otros.

RESUMEN

El siguiente trabajo transcribe en el margen de la información necesaria para el conocimiento actual de técnicas constructivas que tienen como factor importante el mejoramiento de los recursos propios de la construcción, con un enfoque amigable y beneficioso para el medioambiente.

Por lo cual, se presenta a continuación la implementación de techos verdes, que consisten en tener una cubierta vegetal en el techo de un edificio o casa, que conllevan un cambio en las técnicas de construcción utilizadas en los techos para mejorar el hábitat o ahorrar consumo de energía. Es decir, usar herramientas tecnológicas que cumplan una función ecológica.

El origen de los techos verdes se remonta al siglo XVII, en donde habitantes de los países escandinavos comenzaron a cultivar césped en los tejados con el objetivo de aislarse del frío extremo. Tomando esta idea, ingenieros y arquitectos de la Europa moderna lo implementaron en las ciudades y urbes con el fin de frenar los efectos devastadores como el aumento de temperaturas y la contaminación del aire. Los techos verdes tendrán como área de trabajo los espacios como las losas para techos en edificios, casas, entre otros, que representan espacios poco utilizados por las personas.

Los sistemas de techos verdes representan un cambio favorable para la construcción a través del mundo, que buscan el uso avanzado de los recursos renovables y a favor de la mejora al hábitat y el medioambiente que rodea.

OBJETIVOS

General

Implementar una guía para la instalación de sistemas de techos verdes tipo extensivo e intensivo.

Específicos

1. Conocer los procesos de instalación y los materiales que conforman un techo verde.
2. Presentar todos los beneficios sociales, económicos, constructivos y ambientales que se obtienen al momento de tener instalado un techo verde.
3. Evaluar y obtener datos concretos de la instalación de techos verdes, en aspectos importantes como el económico, el social, el energético y el ambiental.
4. Conocer las ventajas que se obtienen de la instalación de los techos verdes de tipo extensivo y de tipo intensivos.

INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo se enfoca en la utilización de técnicas constructivas que tienen como prioridad la preservación del medioambiente, el manejo óptimo de los recursos renovables y la disminución de la contaminación que produce el ser humano.

En el primer capítulo se presentan las definiciones y conceptos básicos relacionados con los techos verdes, las propiedades y sus características y un repaso a través de la historia de esta técnica constructiva, con el fin de que el lector pueda relacionarse de forma sencilla y concisa con el tema en mención.

En el segundo capítulo se hace un estudio de los techos verdes tipo extensivos, aquí se revisan las propiedades y los procedimientos de la instalación, además de obtener las ventajas de tenerlos colocados en una edificación.

En el tercer capítulo se hace un estudio de los techos verdes tipo intensivos, las propiedades, los materiales que los conforman y el procedimiento de la instalación, además se evaluarán las ventajas y el comportamiento cuando ya se encuentra colocado en una edificación.

En el cuarto capítulo se aborda el experimento de campo realizado en el país, específicamente se realizó la instalación de un techo verde tipo extensivo, del cual se obtuvo información comprobatoria de las propiedades, el procedimiento de instalación y cómo beneficia a una edificación.

En el quinto capítulo se presenta la revisión de los datos obtenidos de la instalación realizada experimentalmente y una investigación relacionada con el tiempo de vida útil, el tiempo de instalación y los costos a nivel general.

1. SISTEMA DE TECHOS VERDES

1.1. Definiciones

Para definir el tema que se está presentando, se introducen conceptos básicos para un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema en mención.

1.1.1. Techos verdes

Un techo verde es una superficie cubierta de vegetación el cual contribuye al mejoramiento del ambiente urbano mediante el sostenimiento ecológico, permitiendo así el manejo, control y sustentabilidad ambiental en ciudades donde se observan altos niveles de contaminación.

El procedimiento de instalación se realiza con un sistema de capas protectoras e impermeabilizantes en el techo, después se colocan los elementos naturales como la tierra y la vegetación, con lo que se optimiza la aislación térmica, el almacenamiento de calor del edificio, además inhibe el aumento de temperatura durante el día y se genera una mejor aislación acústica.

Sus ventajas no solo son de carácter ecológico, implican factores psicológicos, económicos y de índole vanguardistas.

Además este tipo de instalaciones se incluyen dentro de las nuevas técnicas de construcción que se aplican a nivel mundial, en su avance por la preservación de la vida humana y la sustentabilidad de los recursos del planeta Tierra.

1.1.2. Historia y clases de techos verdes

Desde Europa hasta África se han encontrado construcciones referentes a los techos verdes, por lo cual se verán las crónicas y la evolución de estos a través de la historia.

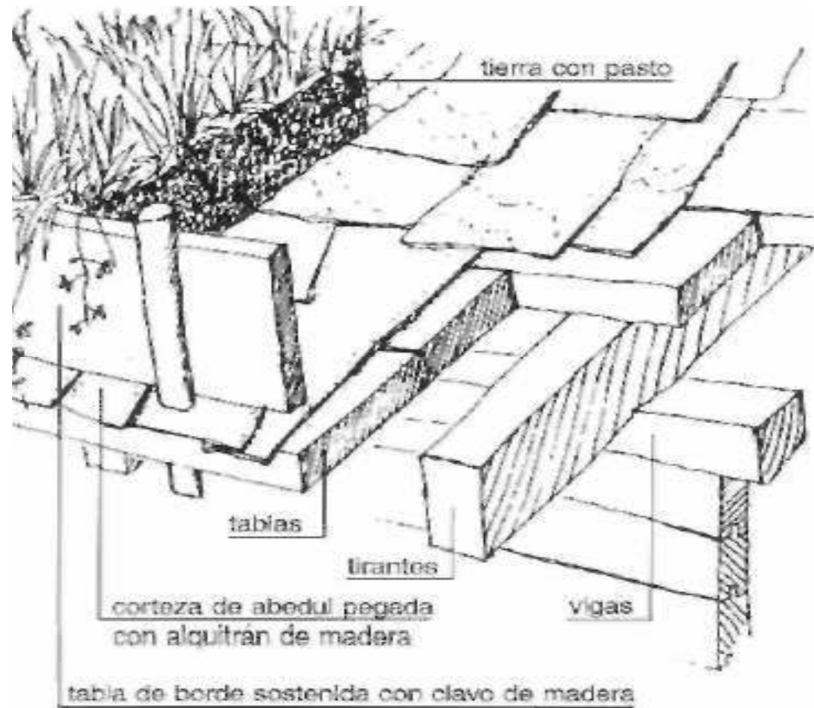
1.1.2.1. Origen

Europa del norte es una zona próxima a las áreas glaciares que tiende a verse afectada por los climas extremos. A principios del siglo XVII con la idea de protegerse de este frío intenso, la gente se valió de los recursos naturales para hermetizar sus casas, el procedimiento consistía en colocar en los tejados capas de tierra apoyadas sobre pequeñas ramas, para después aplicar una capa de grama o pasto.

Ya instalado el techo verde, en temporal frío almacenaba el calor de los ambientes y durante el verano refrescaba los hogares ya que mantenía aislado los espacios interiores de las altas temperaturas del exterior.

Los primeros techos verdes de los que se tienen conocimiento se encuentran en su mayoría en países como Islandia, Escocia, Noruega, Irlanda; técnica que emigraron al norte de Estados Unidos y Canadá, también se han encontrado en el sur del continente africano.

Figura 1. Sistema de techo verde artesanal en el siglo XVII



Fuente: GERNOT, Minke. *Techos Verdes. Planificación y Ejecución*. p. 8.

La mayoría de techos escandinavos se constituían por ramas, pastos de pradera y dos terrones de césped colocados uno encima de otro.

Figura 2. **Techo verde artesanal en Islandia**



Fuente: GERNOT, Minke. *Historia de las cubiertas vegetales*.

<http://www.arteyjardineria.com/2013/10/techos-verdes.html>.

[Consulta: septiembre de 2013].

Ya en la era moderna, a principios de la década de los 60, catedráticos y estudiantes de prestigiosas universidades del norte de Europa realizaron ensayos experimentales con métodos tradicionales para comprobar la efectividad de los techos verdes.

Figura 3. **Casa experimental en Universidad de Kassel, Alemania**



Fuente: GERNOT, Minke. *Techos Verdes. Planificación y Ejecución*. p. 79.

Dichos ensayos se hicieron con el fin de analizar el comportamiento interno de la edificación antes y después de la instalación del techo verde. Los cambios se hicieron notar caracterizándose principalmente la reducción de las temperaturas internas, provocadas anteriormente por el contacto directo con la luz solar, además el aislamiento acústico se comprobó eficientemente y los elementos vegetales hicieron posible el aporte ecológico que se requiere para mejorar el medioambiente.

Estos resultados repercutieron en la necesidad de integrarlos a las grandes ciudades pues la excesiva concentración de edificios y el tránsito vehicular eran ya un problema a resolver, debido a los altos índices de contaminación ambiental. Con el paso del tiempo se han introducido una diversidad de materiales novedosos que incluyen derivados del petróleo, materiales reciclados, aluminio, PVC, entre otros.

Hoy en día los techos verdes se han diversificado en forma, tamaño y presentación, ejemplos que se pueden encontrar en grandes ciudades vanguardistas del mundo, principalmente en lugares como Chicago, Beijing, Tokio, Toronto, Frankfurt, entre otras.

Figura 4. **Techo verde instalado en Islandia**



Fuente: INFOTELI. *Green Roof Building Office*.

<http://www.infoteli.com/green-roof-architectural-building.htm/green-roof-building-office>.

[Consulta: septiembre de 2011].

1.1.2.2. Clases de techos verdes

Una gran diversidad de techos verdes ha surgido hasta la fecha, variando en sus dimensiones, materiales, procedimientos de instalación, tipo de vegetación, entre otros. Sin embargo, existen dos grandes grupos en los que se clasifican los techos verdes.

1.1.2.2.1. Techo verde tipo extensivo

Este tipo de techo verde, generalmente se caracteriza por su fácil y rápida instalación, sus bajos requerimientos estructurales, su baja densidad de materiales a utilizar y el mínimo mantenimiento que necesita.

1.1.2.2.2. Techo verde tipo intensivo

Un techo verde tipo intensivo es un techo más complejo, debido a que en estos se pueden instalar árboles o plantas grandes, requiere de mayor presupuesto y tiempo de instalación y el mantenimiento debe ser constante en comparación con un tipo extensivo.

1.2. Propiedades de instalación de techos verdes

Dentro de la instalación de los techos verdes derivan una serie de ventajas que benefician de diferentes maneras los ámbitos construcciones, sociales y ecológicos que se mencionarán.

1.2.1. Características económicas

Quizá de los elementos que más trascendencia tienen al momento de idear colocarse en una edificación son los costos y beneficios a largo plazo que presenta.

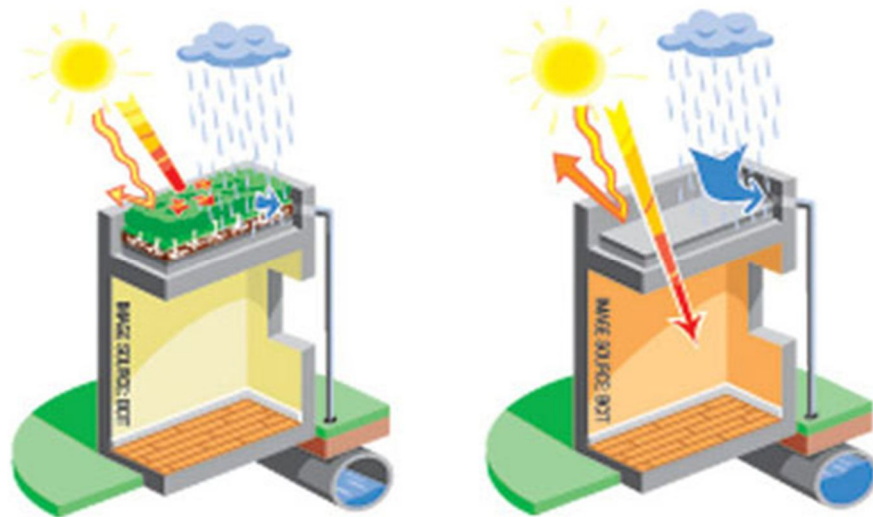
1.2.1.1. Reducción del costo de uso de energía eléctrica

Con la colocación de techos verdes en edificios y casas, se han realizado estudios de comportamientos de variación de temperaturas internas en relación con el tiempo prolongado, fue notable que las interpretaciones obtenidas a través de las lecturas de termómetros concluyeron en que un techo verde tiene la cualidad de refrescar los ambientes internos de las edificaciones, por lo que en estos edificios donde el uso del aire acondicionado es constante el resultado fue la disminución de estos aparatos hasta en un 40%, esto representa a largo plazo menos consumo de energía eléctrica.

Esto se debe a que durante el día, la temperatura ambiental aumenta debido principalmente a que los rayos del sol impactan sobre las edificaciones principalmente constituidas por el concreto, lo que conlleva al exceso de calor dentro de una edificación.

Es entonces que con un techo verde instalado, esto se reduce debido a la propiedad de la cubierta vegetal de absorber y disipar los rayos del Sol. Además, con el riego que se debe hacer al techo verde, la grama y la tierra aprovecharán este recurso para funcionar como inhibidores de calor. En el siguiente bosquejo se demuestra como interactúa el techo verde bajo las condiciones ambientales que lo afectan.

Figura 5. **Comparación a la intemperie de un techo tradicional y un techo verde**



Fuente: WARK, Christophe. *The construction specifier*. Artículo: *Green roof specifications and standards*. p. 12.

1.2.2. Características ambientales

En la medida que se han introducido técnicas de construcción amigables con el ambiente, cada día se implementan leyes y normas que tienden a beneficiar a todo aquello que sea en favor de un ambiente más ecológico.

1.2.2.1. Retención de contaminantes en el aire

Todos los elementos propios de la naturaleza vegetal realizan un proceso llamado fotosíntesis. Esta función de la vegetación tiene la particularidad de filtrar el viento, capturando elementos contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), polvo, nitratos, entre otros. Esto contribuye a aumentar la retención de contaminantes en el aire que se encuentran presentes en la mayoría de ciudades.

1.2.2.2. Aislamiento acústico y térmico

Un techo verde ya instalado en una edificación tiene la capacidad de proveer protección térmica, esto debido a que protege el ambiente de climas extremos, como el calor intenso y la lluvia excesiva.

Este efecto se debe al desarrollo de un ambiente más encapsulado y protegido de los elementos de la intemperie. De la misma manera el aislamiento acústico se hace presente en la edificación pues el techo verde se convierte en una capa aislante y las plantas reducen el ruido mediante la absorción, lo que lo ha convertido en una instalación ideal para edificaciones cercanas a aeropuertos y carreteras con exceso de tráfico vehicular.

1.2.2.3. Reducción del efecto isla de calor

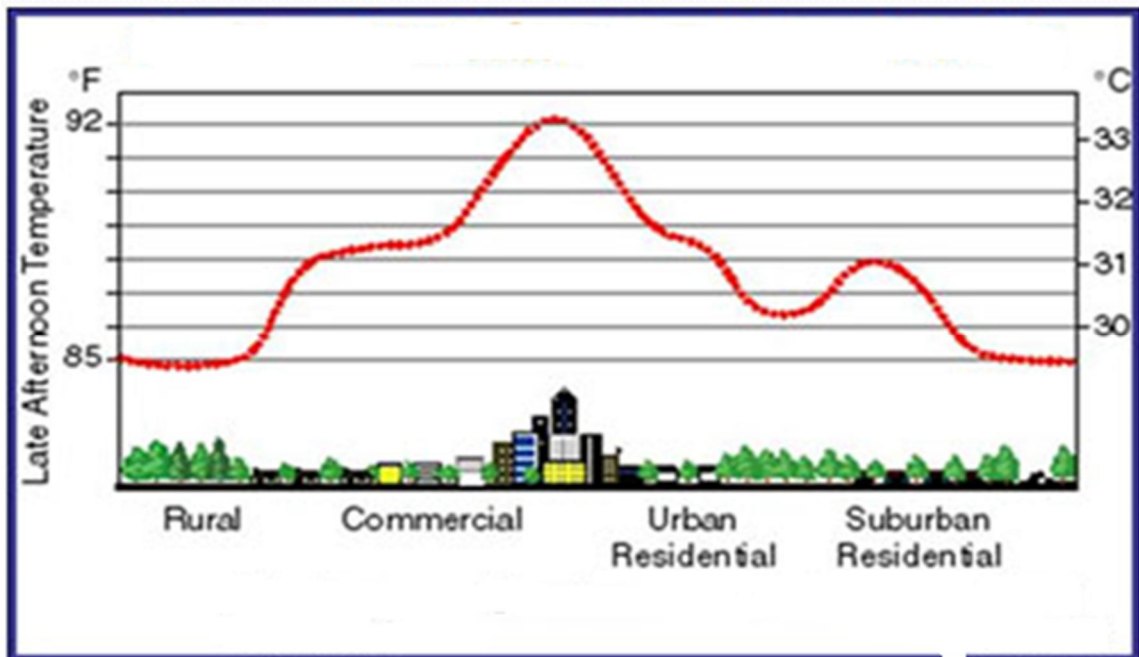
Con el auge de las grandes construcciones en las ciudades, se presentaron variaciones de temperaturas ambientales entre las áreas urbanas y rurales.

A este fenómeno se le denominó el efecto de isla de calor, el cual se genera constantemente en las grandes urbes. Este acontecimiento es por consecuencia de las abundantes superficies de concreto y asfalto en la ciudad, lo que genera el sobrecalentamiento de la atmósfera de las zonas urbanas.

Además, la superficie de una ciudad abarca más de dos tercios de concreto y sólo una tercera parte de tierra, lo que interrumpe el ciclo del agua, pues el agua al caer en forma de lluvia no se filtra a la tierra sino que es desviada directamente al alcantarillado pluvial.

Es así que en una superficie de concreto, no hay presencia de humedad, aumentando la temperatura y recibiendo más calor en comparación con las áreas rurales donde hay más bosques, menos edificaciones y menos superficies de concreto.

Figura 6. **Diagrama de comparación de aumento de temperatura en áreas urbanas y rurales por efecto isla de calor**



Fuente: ROSENBERG, Matt. *Urban Heat Island*.

<http://geography.about.com/od/urbaneconomicgeography/a/urbanheat island.htm>.

[Consulta: junio de 2015].

El techo verde tiene entonces, la propiedad de brindar vegetación la cual contribuye a regular las variaciones de humedad reduciendo el efecto isla de calor en zonas urbanas.

1.2.2.4. Restauración del entorno natural

En toda construcción que se ejecuta es un requisito esencial integrar la vegetación pues permite apreciar la naturaleza y vincularla con el comportamiento social.

Es por ello que es importante recuperar los espacios naturales que se han perdido ya que éstos contribuyen al mejoramiento del medioambiente y del ser humano y son ejemplo de una sociedad ecológicamente responsable.

1.2.2.5. Mejoras en la circulación del agua de lluvia

El ciclo del agua inicia con las lluvias para luego caer a la superficie, en el cual una parte del agua se evapora y otra se filtra para desembocar en los mantos subterráneos para después finalizar en el mar, evaporarse e iniciar nuevamente con este ciclo.

El techo verde contribuye a mantener este balance porque en sus mantos retiene una parte del agua de lluvia, misma que le sirve a la vegetación para poder nutrirse y crecer y el excedente se evacua por el alcantarillado pluvial pero de una forma más adecuada, pues esta llegará al sistema pluvial lentamente evitando la saturación de las tuberías y por consiguiente evitando las catastróficas inundaciones dentro de una ciudad.

1.2.3. Beneficios en la edificación

Ahora se mencionarán las ventajas relacionadas con factores inmobiliarios los cuales son de gran relevancia en la sociedad.

1.2.3.1. Incremento en el valor económico de la propiedad

A mayor aplicación de elementos que protejan una edificación, mayor será el valor de la propiedad intelectual. Pues de esta forma un techo verde se instala en lugares poco utilizados como azoteas, dando lugar a mayor espacio recreacional para sus habitantes, haciendo útiles espacios poco frecuentados aumentándose la rentabilidad y utilidad de la edificación.

1.2.3.2. Protección del entorno de la edificación

El techo verde garantiza la protección de climas extremos por más de 50 años. Proveyendo una construcción de mejor calidad. Ya que se crea un microclima independiente, que protege al edificio de la intemperie.

1.2.4. Beneficios para las personas

Sin duda uno de los aspectos que el ámbito de la construcción debetener en cuenta, es el impacto directo a las personas pues son los seres que hacen uso de estos, principalmente si los habitan o son los lugares de trabajo a los cuales acuden diariamente.

1.2.4.1. Remoción de partículas dañinas para los humanos

Con la llegada del auge de la producción manufacturera y del aumento de las industrias que utilizan químicos para su producción, estos tienen como consecuencia la contaminación del aire, mismo aire que se utiliza para respirar.

Es importante contar con la vegetación dado que las plantas absorben partículas nocivas, gases y aerosoles; al colocar un techo verde las plantas tienen la propiedad de retener estas partículas, las cuales al momento de tener contacto con el agua de lluvia, se filtran y caen a la capa de tierra.

1.2.4.2. Psicología del techo verde

Las ventajas de los techos verdes representan para el medioambiente una señal vital que indica que estas instalaciones son de gran beneficio y ponen freno al calentamiento global y la contaminación.

Sin embargo hay que incluir al ser humano quien es también un gran benefactor de los recursos renovables, tal es el beneficio que cuando se realizó la instalación de un techo verde en un hospital en Francia, se dieron cuenta de que los pacientes al tener la facilidad de acceso a un área verde, esto contribuía al proceso de recuperación de los enfermos.

La vista que da un techo verde contribuye al mejoramiento del estado de ánimo y el espíritu humano, previene estados depresivos y aumenta el rendimiento físico y mental.

1.2.4.3. Educación ambiental

Con los efectos del calentamiento global, la contaminación y la sobrepoblación, se ha vuelto más que una prioridad educar a las futuras generaciones la necesidad de cuidar el medioambiente necesario para la existencia de la humanidad.

La conciencia social ambiental nació de los esfuerzos que ecologistas y países del primer mundo que investigaron e iniciaron a utilizar recursos renovables y la implementación de tecnología para obtener una mejor calidad de vida.

El reciclaje, la energía solar, energía eólica, techos verdes, reutilización de los desechos, son las herramientas que se deben proveer a las nuevas generaciones para el sostenimiento del medioambiente.

2. TECHO VERDE TIPO EXTENSIVO

2.1. Características generales de un techo verde tipo extensivo

Este tipo de techo es el más conocido en cuanto a su instalación y por sus características que lo hacen favorable y adaptable en casi cualquier edificación en la cual se desea instalar.

2.1.1. Forma y dimensiones

Un techo verde tipo extensivo, como su nombre lo indica tiene la cualidad de abarcar grandes áreas y la vegetación que utiliza son plantas de raíz tipo extensiva, esto significa que el elemento principal es la grama, pues se alimenta más del aire que del agua y su raíz es de poca densidad.

Figura 7. **Techo verde tipo extensivo instalado**



Fuente: MIRAVERDE. *Techos Verdes*. <http://www.miraverde.com/techos%20verdes.htm>.

[Consulta: septiembre de 2011].

2.1.2. Especificaciones técnicas, económicas, disposiciones especiales y normas internacionales

Con la implementación de los techos verdes se concretaron una serie de normas y especificaciones a las cuales toda instalación de este tipo debe regularse.

En estas normas se detallan los métodos y características requeridos para la correcta instalación de un techo verde tipo extensivo, aquí se mencionan los requerimientos más importantes a ejecutar:

- Estructural: la carga estructural que debe aportar un techo verde tipo extensivo es de 58,8 a 171,5 kilogramo sobre metro cuadrado (12 a 35 libras sobre pie cuadrado).
- Vegetación: se deben sembrar solo plantas como gramas, flores pequeñas, sedumsy otras plantas con raíz de baja densidad.
- Dimensión: su espesor debe estar en el rango de 7 centímetros hasta los 30 centímetros.
- Mantenimiento: durante los 3 primeros meses después de su instalación, requiere de un riego continuo a las plantas, para que estas se enraícen, en el tiempo restante debido al tipo de vegetación es en su mayoría autosustentable. Además, requiere de evaluaciones mínimo una vez al año, para remoción de maleza, nutrición del sustrato vegetal, etcétera.
- Instalación: se colocan una serie de capas impermeabilizantes y drenantes, para seguidamente aplicar la tierra y vegetación.
- Interactividad con el entorno: por la carga y los lugares que ocupa este tipo de instalación, el techo verde tipo extensivo es poco accesible para las personas, debido la poca profundidad que se manifiesta en estos.

2.2. Materiales que conforman su instalación

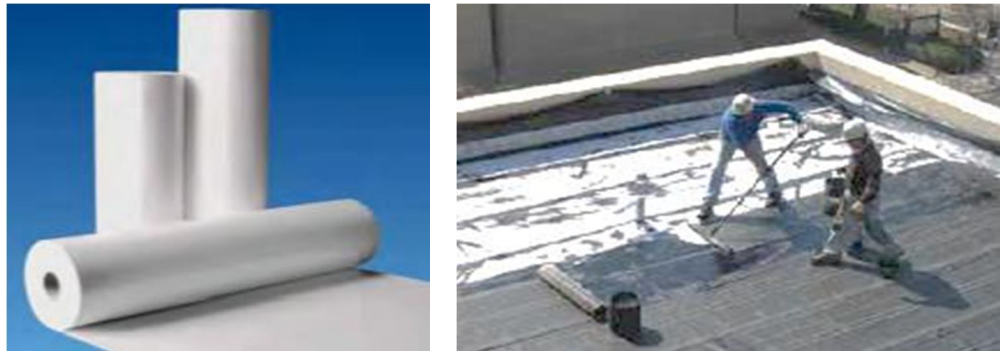
Existe gran variedad en el mercado mundial para este tipo de instalaciones, la disposición dependerá directamente de los costos que se asuman por parte de los interesados, así como la accesibilidad a obtenerlos, las condiciones climáticas y los precios de venta.

2.2.1. Membrana impermeabilizante

Es la primera capa que se utiliza en la instalación, este es el elemento más fundamental a colocar pues enmarca el inicio del techo verde y se coloca directamente en la superficie de concreto o lámina.

Su función como su nombre lo indica es impermeabilizar el área a utilizar, pues los materiales del cual está fabricada evita la filtración del agua, de raíces y de todo lo que pueda generar un problema en la losa. Los materiales pueden ser cloruro de polivinilo (PVC) reforzado con fibra de polietileno, materiales de caucho, entre otros.

Figura 8. **Diversidad de los materiales a utilizar**



Fuente: WITTEMORE, Gary. *Waterproofing, design options for green roofs The construction specifier*. p. 23.

Además hay quienes utilizan derivados del petróleo por el factor costo, sin embargo, es contraproducente promover la ecología con un elemento que es cuestionable ambientalmente hablando.

Figura 9. **Instalación de manto de PVC impermeabilizante**



Fuente: Casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

2.2.2. **Sistema drenante**

Es la capa que va por encima del manto impermeabilizante. Este material como su nombre lo indica, se utiliza para drenar el agua de lluvia que cae y filtra la vegetación.

Figura 10. **Forma de un manto drenante**



Fuente. Casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Además, por su diseño se utiliza también para retener una cantidad de agua, la cual le sirve a las plantas para subsistir. De este material existen en una diversidad de formas simétricas y asimétricas y generalmente fabricado también de cloruro de polivinilo (PVC).

Figura 11. **Diversidad de sistemas de drenantes**



Fuente: ELMICH. *Enhancing the environment with green roof system*. p. 3.

2.2.3. **Geotextiles**

El siguiente elemento que se coloca por encima del sistema drenante es el geotextil, este es el elemento que se utiliza para dividir el sustrato de tierra del sistema drenante. Su función se basa en retener las partículas de la tierra y filtrar el agua que proviene del riego o de la lluvia.

Figura 12. **Geotextil colocado por encima del manto drenante**



Fuente: Casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

2.2.4. Sustrato y vegetación

Es la parte final de la instalación y la que más se aprecia a la vista, consiste en colocar por encima del geotextil una capa de tierra y una capa final de grama o vegetación que se requiera.

Figura 13. **Colocación de capa de tierra y vegetación**

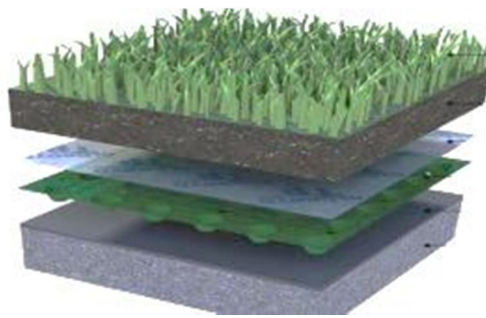


Fuente: KANAGUSUKU, Rubén. *Cubiertas vegetales sostenibles*.
<http://www.perushimpo.com/noticias.php?idp=3731>. [Consulta: junio de 2015].

2.2.5. Procedimiento de instalación

El proceso de instalación es secuencial, acorde al orden descrito de cada uno de los materiales a utilizar.

Figura 14. **Procedimiento secuencial de colocación de mantos**

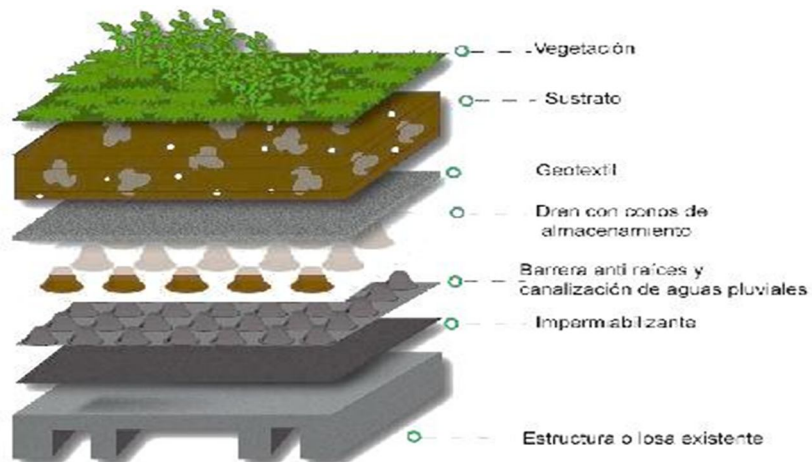


Fuente: SAFEGUARD. *Flat green roofs*.

http://www.safeguardeurope.com/applications/green_roofs_flat.php.

[Consulta: septiembre de 2012].

Figura 15. **Montaje de la instalación de techo verde extensivo**



Fuente: HUERTA, David. *Azoteas Verdes*.

<http://davidhuerta.typepad.com/blog/2010/09/mejora-el-medio-ambiente-azoteas-verdes.html>

[Consulta septiembre de 2011].

2.3. Propiedades de su instalación

Se consideran todas las ventajas que puede presentar la instalación de un sistema de techo verdes tipo extensivo, principalmente aquellas características que sean de beneficio para los seres humanos.

2.3.1. Lugares y espacios a utilizar

Basándose en los requerimientos para su instalación, prácticamente se puede instalar en cualquier techo siempre y cuando sea capaz de soportar el peso estructural especificado.

Los ejemplos que se encuentran en los medios de comunicación, se observan una diversidad de lugares a través del mundo donde se han instalado, ya sea en techos de concreto, como en techos de lámina, entre otros.

Figura 16. **Instalaciones realizadas de techos tipo extensivo I**



Fuente: ELMICH. *landscaperoof*. p. 2.

Figura 17. **Instalaciones realizadas de techos tipo extensivo II**

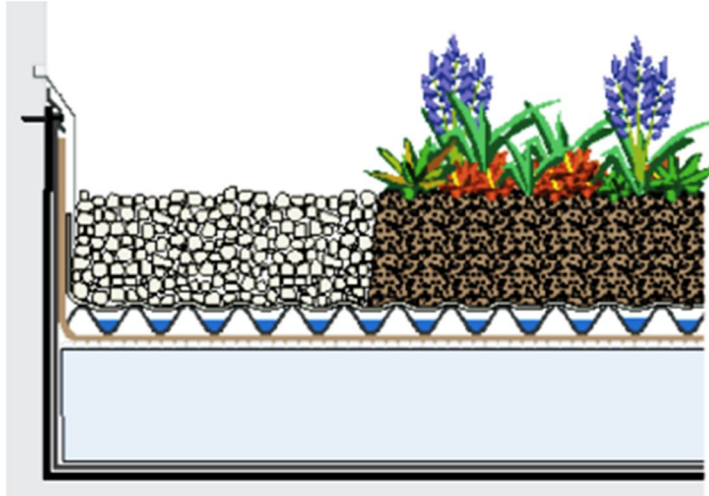


Fuente: ELMICH. *Enhancing the environment with green roof system.* p. 6.

2.3.2. Recomendaciones generales

- Es de gran relevancia recordar que después de realizada la instalación, la capa vegetal debe ser tratada como un jardín en general, con sus requerimientos riego, aplicación de abonos y pesticidas, etcétera.
- El techo verde en funcionamiento necesita de un sistema de evacuación de agua que es captada en la lluvia o en el riego, es por lo cual que preferentemente en el perímetro del Techo Verde se coloque un relleno de piedrín de un ancho mínimo de 30 centímetros.
- En este canal se le permitirá al agua excedente conectar con el sistema de alcantarillado pluvial para una mejor evacuación. En este sentido, ya teniendo el techo verde se debe colocar en todo el perímetro o simplemente en uno de sus lados el más conveniente a criterio del instalador.

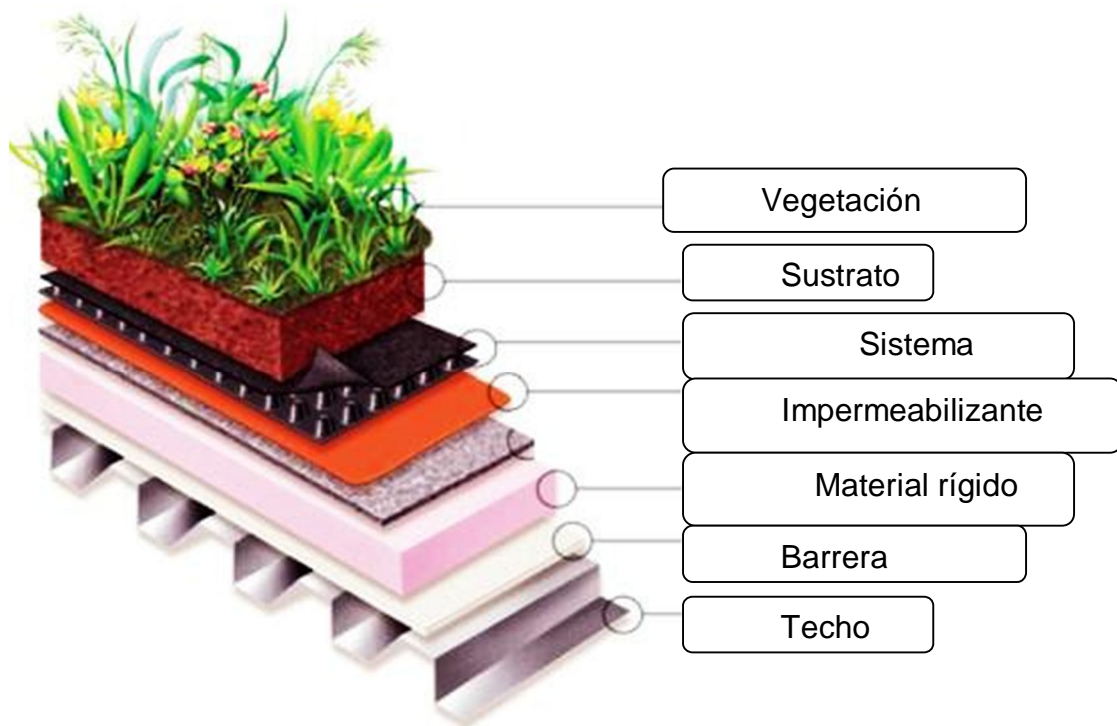
Figura 18. **Procedimiento para evacuación del agua de riego y pluvial**



Fuente. Hidrotech. *Gardenroof planing guide*. p. 14.

- Si en algún caso se desea tener acceso al techo verde es mejor crear senderos independientes de la instalación, es decir, preferiblemente que se encuentren en el perímetro de donde se colocó el techo verde.
- Cuando se desee colocar sobre un techo de metal es importante considerar el esfuerzo al que va a estar sometido el material, además, se deben agregar dos materiales que complementarán el buen funcionamiento de un techo verde. Uno de ellos es la barrera térmica la cual será el inicio de la instalación, este material rígido, debe ser a prueba de fuego comprobado y se encuentra en grosores de 6 milímetros hasta 16 milímetros. Después de colocar este elemento se pondrá un material rígido aislante que usualmente es polietileno grueso y es resistente a la absorción de la humedad y se ha utilizado por décadas en la instalación de los techos verdes, se puede encontrar desde 40 libras sobre pulgada cuadrada hasta 100 libras sobre pulgada cuadrada.

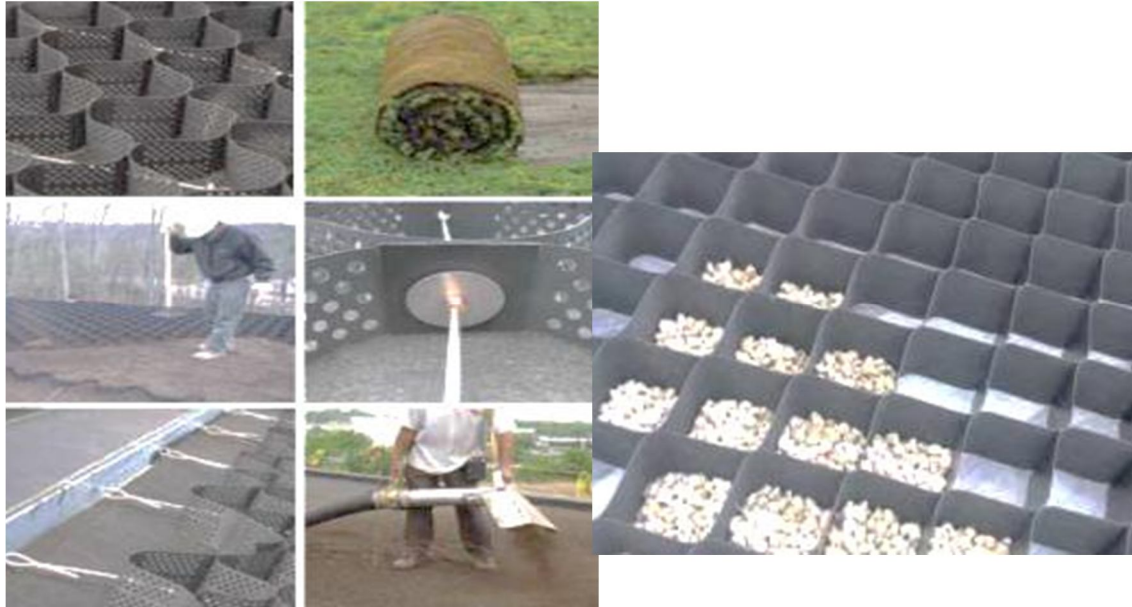
Figura 19. **Techo verde sobre techo de metal**



Fuente: WARK, Christophe. *The construction specifier. greenroof specifications and standards.*
p. 12.

- Hay una cantidad de techos que se construyen inclinados, por lo cual representan un reto en cuanto la instalación de un techo verde, es por lo cual que cuando así se requiera es necesario utilizar un sistema de retención de sustrato de tierra. Su diseño se adecua a espacios donde la pendiente es pronunciada y su función es evitar problemas como deslizamiento de la vegetación y el desplazamiento de la tierra.

Figura 20. **Sistema de retención para techos inclinados**



Fuente: ELMICH. *Enhancing the environment with green roof system*. p. 10.

2.3.3. **Desventajas**

Las desventajas que se pueden mencionar dependerán enteramente de las limitaciones en los aspectos estructurales, económicos, legales, cualitativos y de espacio y ubicación. Lo importante de estas situaciones es evaluar si se tienen limitaciones que no permitan el proceso de la instalación adecuadamente, teniendo en cuenta que el aspecto de la evaluación estructural y el económico son los más elementales a solventar.

3. TECHO VERDE TIPO INTENSIVO

3.1. Características generales de un techo verde tipo intensivo

Luego de obtener los conceptos generales de un techo verde, a continuación se presentaran los siguientes aspectos y características que definen el Techo Verde tipo Intensivo.

3.1.1. Forma y dimensiones

Se le denomina tipo Intensivo debido a que en esta instalación se colocan plantas de mayor densidad como los arbustos y los árboles, mismos que requerirán mayor profundidad de tierra, además, este techo verde requiere de una mayor planificación estructural por la cantidad de elementos vegetales que se contienen.

Figura 21. **Techo verde tipo intensivo**



Fuente: ELMICH. *Enhancing the environment with green roof system*. p. 2.

3.1.2. Especificaciones técnicas, económicas, disposiciones especiales y normas internacionales

Al igual que en los techos tipo extensivos, los intensivos se rigen de normas avaladas por instituciones internacionales que detallan una serie de procedimientos y métodos a utilizar.

Aquí se mencionan los requerimientos más importantes que se deben ejecutar:

- Estructural: la carga estructural que debe aportar un techo verde tipo Intensivo es de 245 a 1470 kilogramos sobre metro cuadrado (50 a 300 libras sobre pie cuadrado).

Esto significa que estas instalaciones se realizarán en su mayoría en nuevas edificaciones que hayan incluido el valor del factor carga que va a requerir el techo verde tipo Intensivo.

- Vegetación: la vegetación en un tipo Intensivo no tiene límites para las plantas, aquí se pueden colocar grama, flores, arbustos, árboles grandes, palmeras, etcétera. Además, acorde al espacio se pueden agregar fuentes de agua, pasos peatonales y áreas sociales, entre otros.
- Dimensión: su mínimo espesor es de 30 centímetros y puede alcanzar profundidades de 1 metro a 1,50 metros. Además, la inclinación del techo no debe ser mayor a 3% de la pendiente.
- Mantenimiento: el mantenimiento de riego y ambientación debe ser como mínimo de 3 a 6 meses, debido a la gran densidad de las plantas que aquí se siembren. En adelante el cuidado debe ser minucioso por la gran mayoría de plantas, incluso fuentes de agua si se llegan a colocar.
- Instalación: el procedimiento de capas se asimila a los tipo extensivos, solo se agregan otras capas cuya función será evitar que las raíces lleguen a romper los mantos impermeabilizantes y así asegurar la funcionalidad del techo verde.
- Interactividad con el entorno: por su dimensión son los más adecuados para acceso a las personas, la mayoría de estos techos se hacen para edificaciones nuevas, debido a la carga estructural que se debe agregar, lo cual hace que en el diseño se incluya accesos para mayor interacción social con el ambiente que se crea.

3.2. Materiales que conforman su instalación

A continuación se nombran los elementos básicos de los cuales existe una variedad considerable y materiales que se utilizan en general en la instalación de techos verdes tipo Intensivos.

3.2.1. Membrana impermeabilizante

Es el inicio del proceso de la instalación, su función es impermeabilizar y evitar las filtraciones.

La manufactura al igual que el tipo extensivo son materiales como derivados del petróleo, cloruro de polivinilo (PVC) reforzado con fibra de polietileno y materiales de caucho líquido, entre otros.

Figura 22. **Membrana impermeabilizante de techo verde tipo intensivo**



Fuente: WARK, Christophe. *The construction specifier*, green roof specifications and standards.

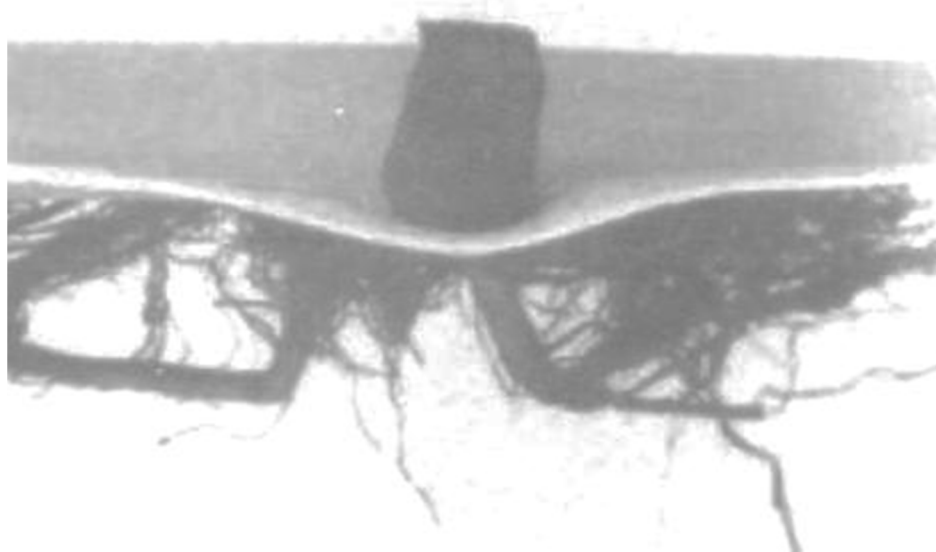
p. 19.

3.2.2. Barrera antiraíces

Después de aplicar el manto impermeabilizante, se debe colocar una barrera antiraíces, esta usualmente es una membrana de polietileno de alta resistencia. El objetivo de esta capa es evitar que las raíces de la vegetación que sembramos dañen y penetren dentro del manto impermeabilizante.

Lo que sucede esencialmente es que debido a que un techo verde tipo Intensivo incluye árboles o plantas cuya raíz crece exponencialmente en proporción a su densidad de ramas y hojas, es necesario colocar un manto que evite que las raíces lleguen a romper el manto que está por debajo de ellas. De lo contrario existirían problemas que pueden afectar seriamente el techo donde se instale.

Figura 23. **Perforación por una raíz en la unión de dos láminas de PVC de manto impermeabilizante**



Fuente: GERNOT, Minke, *Techos verdes. planificación y ejecución*. p. 37.

3.2.3. Sistema drenante

Al igual que en un techo verde tipo extensivo se utilizan los mismos materiales, el mismo manto fabricado de PVC con la forma que está diseñado para evacuar y retener una cantidad de agua para el uso de las plantas.

3.2.4. Geotextiles

Luego de colocársele el sistema drenante a la instalación, se coloca nuevamente un geotextil y la función es dividir y filtrar el agua que proviene de la lluvia y el riego. Procedimiento similar realizado en el techo verde tipo extensivo.

3.2.5. Arena blanca

La arena blanca cumple una función muy importante en este procedimiento, se coloca por encima del geotextil y la capa puede ser de 5 a 10 centímetros.

Lo que sucede es que la arena blanca favorece para filtrar el agua además, las raíces que lleguen a tocar este punto se tornan bastante manejables en cuanto a su crecimiento, lo que evita que las raíces se mantengan en este espacio favoreciendolas remociones en el futuro de las plantas.

3.2.6. Sustrato y vegetación

Es el procedimiento final y va por encima de la capa de arena blanca, este sustrato debe ser de una profundidad de 30 centímetros hasta 1 metro o más, la razón obedece a la densidad de las raíces de las plantas y árboles que ahí se siembren.

En este punto de la instalación el procedimiento debe ser sumamente cuidadoso, pues los problemas como ruptura de alguno de los mantos pueden traer problemas de gran repercusión, ya que es una cantidad considerable de tierra y en algunos casos se siembran plantas ya bastante desarrolladas.

Figura 24. **Proceso de colocación de tierra orgánica**



Fuente: Hidrotech. *Garden roof planing guide*. p.10.

3.3. Propiedades de su instalación

Para la instalación se debe colocar una a una las capas mencionadas sistemáticamente en este capítulo, colocando en primer lugar el manto impermeabilizante, la barrera antiraíces, el sistema drenante, el geotextil, la capa de arena blanca y la tierra negra y por último la vegetación.

3.3.1. Lugares y espacios a utilizar

Como se menciona en las especificaciones técnicas, lo más importante a considerar es el peso estructural que el techo verde tipo intensivo aporta a la estructura.

Por lo general, se instalará en edificaciones que se construirán, con el diseño estructural que ya incluya la carga adicional del techo verde tipo intensivo.

En cuanto a la losa se refiere preferiblemente no debe pasar de una pendiente de 3%, esto debido a la cantidad de tierra que puede representar problemas de desplazamiento. Sin embargo, esto es una premisa variable pues con el diseño y la ejecución adecuada se puede colocar en losas inclinadas, como se observa en la siguiente figura:

Figura 25. **Techo verde tipo intensivo en edificación con losa inclinada**



Fuente: Magazine University of California. *Green roofs for healthy cities: about green roofs*. p. 3.

3.3.2. Recomendaciones generales

- El techo verde tipo intensivo tiene la cualidad de brindar un mayor acceso a las personas en las terrazas, lo que lo hace ideal para actividades sociales y de recreación de los individuos que utilizan dicha edificación. En este se pueden incluir caminamientos, fuentes, bancas, etcétera.

Figura 26. **Habilitación de espacios en techo verde tipo intensivo**



Fuente: ELMICH. *Enhancing the environment with green roof system*. p. 6.

- Si en algún momento se desea colocar un techo verde tipo intensivo pero evitar en ciertos espacios todo el peso estructural que aporta, existen algunos mecanismos que se pueden desarrollar. Existe una modulación parecida a construir cajas, es decir, colocar jardineras en espacios pequeños como que si estos fueran maceteros, evitando así abarcar grandes espacios que implica una reducción en cuanto al peso que este tipo de instalación aporta.
- Los cuidados posteriores a la instalación deben ser constantes debido a la densidad y cantidad de plantas que se siembren. Es decir, tener personal de jardinería que cuide de este espacio de manera constante.

- Si se desea colocar una fuente se debe consultar con el instalador y el proveedor de materiales, cuál es el procedimiento más adecuado a utilizar, pues de lo contrario se tendrán problemas de humedad y filtraciones en los niveles inferiores a la terraza.
- Para los sistemas de riego, lo más recomendable es instalarlos en la capa de tierra (sustrato) y no entre los mantos, ya que será más fácil realizar reparaciones y cambios si se encuentran en estos espacios.
- Para las descargas de agua, es importante colocar las suficientes para evitar saturaciones del suelo, que pueden aumentar el valor de la carga a la edificación.
- Las plantas ideales y recomendables para la instalación de un techo verde tipo intensivo, son todas las clasificaciones de palmeras, esto en parte a la propiedad de estas en tener raíces cortas y que no se desplazan demasiado del tallo de la planta, por lo cual beneficia en la disminución de la capa de tierra y el riego pues no necesitan mucha agua para vivir.

3.3.3. Desventajas

Una de sus desventajas es el peso estructural que ella aporta a una edificación, por lo cual no es recomendable para edificios ya existentes. Además, el costo de instalación y mantenimiento es sumamente elevado en comparación con un techo verde tipo extensivo, lo cual incidirá en el momento de avalar la instalación.

4. PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE UN TECHO VERDE, EN EDIFICACIÓN UBICADA EN EL INGENIO MAGDALENA

En el kilómetro 91 de la carretera que conduce a Sipacate, municipio del departamento de Escuintla; se encuentra el Ingenio Magdalena S.A., dicha empresa dedicada a la producción de azúcar se mostró particularmente interesada en este tipo de proyectos, por lo cual se dio la autorización y la ubicación del espacio donde se instalaría el techo verde.

Figura 27. **Edificación autorizada para realizar la instalación**



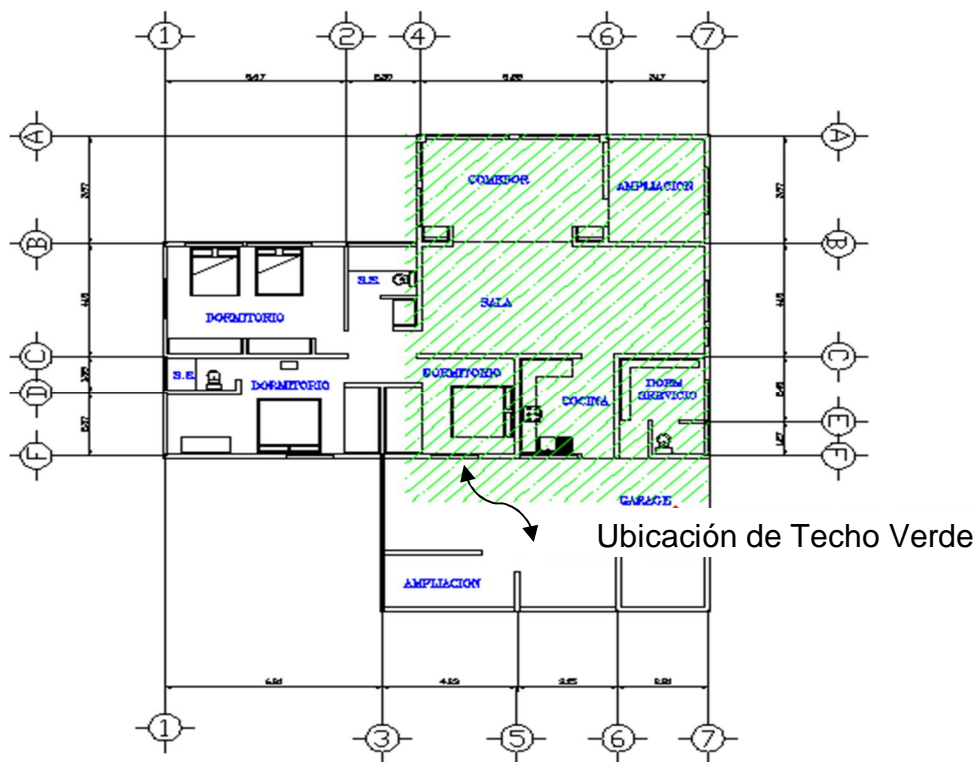
Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

4.1. Requerimientos previos a la instalación

Con el inicio del proyecto se realizó una revisión de los planos para definir la ubicación del techo verde, además, de una inspección de los detalles estructurales de la casa, fundamentalmente si contaba con zapatas y cimientos corridos, los cuales son necesarios para que la edificación aplique a la colocación del techo verde.

Fue así que por el espacio asignado se llegó a la conclusión de instalar un techo verde tipo extensivo, principalmente que este tipo de instalación es adecuado para esta construcción.

Figura 28. Planta acotada de casa en donde se realizará la instalación



Fuente. archivo perteneciente al Departamento de Obra Civil, Ingenio Magdalena. S. A.

Se acordó no construir la totalidad del espacio que ocupa la losa en la casa, por lo cual se asignó realizar la instalación en una parte de la losa donde se encuentran la sala, el comedor, la cocina y un cuarto de estudio; los cuales son los espacios que más actividad reportan en esta casa.

Por lo cual al momento de tomar medidas dió como resultado un total de 121 metros cuadrados, con lo cual se debió construir un borde de 20 centímetros de altura, para iniciar los procedimientos necesarios para la instalación.

Figura 29. **Construcción de borde para el inicio de la instalación del techo verde tipo extensivo**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

4.2. Propiedades físicas y materiales de la losa a utilizar

La casa que el Ingenio Magdalena asignó contaba con techo recién construido de losa prefabricada, por lo cual no representó mayor problema en cuanto a las reparaciones o problemas de carácter estructural.

Con estos datos, se procedió a los trabajos preliminares de la instalación como lo fue la limpieza y la construcción de bordes. Además se encuentran variaciones de las pendientes del techo, lo cual por efectos de la instalación se debió realizar una pequeña fundición para crear una sola pendiente en este espacio, esto debido principalmente para no tener problemas con los mantos impermeabilizantes al momento de la instalación y crear un mismo flujo en cuanto a la evacuación del agua y mantener un mismo grosor en todo el techo verde con la tierra y la grama.

Figura 30. Diferencias de niveles en la losa donde se realizaría la instalación



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 31. **Corrección de diferencias de nivel en la losa**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Además, en ambos extremos de las pendientes se colocaron 3 salidas de agua de cada lado, para evacuar el agua de riego y pluvial.

Figura 32. **Colocación de descargas de agua pluvial y de riego**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Otro de los cambios que se hicieron fue aislar los cables de televisión y líneas telefónicas que sobresalían en la losa, esto debido a que estos interferían el espacio donde se instalaría el techo verde y pueden presentarse problemas como reparaciones o modificaciones a estas conexiones si solo se hubieran dejado por debajo de los mantos; por lo cual se elevaron por encima de la instalación colocando tubería y codos de PVC unidos a la losa con un pegamento especial.

Figura 33. **Conexiones que interrumpían en la instalación**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 34. **Aislamiento de conexiones por encima de la instalación**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Luego de las modificaciones necesarias a la losa, se ejecutaron los acabados finales principalmente en los contornos con un alisado exterior y por el lado interior suavizando con una pequeña curva para evitar hacer dobleces rectos con los mantos impermeabilizantes.

Figura 35. **Acabados finales al área a instalar**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Al finalizar todos estos trabajos, seguidamente se debió iniciar el proceso de la instalación del techo verde tipo extensivo, a partir de este punto, se comenzó a tomar las mediciones de temperatura internas de los espacios de la sala y comedor, cocina y dormitorios de la casa, para verificar la reducción exponencial de las temperaturas ambientales que se producirán después de la instalación.

4.3. Procedimiento de la instalación y tiempo promedio de colocación de capas

El personal a cargo de la instalación, realizó una breve inspección del espacio donde estaría ubicado el techo verde, luego de no encontrar inconvenientes y obstáculos para la aplicación de los mantos, se procedió a realizar el trabajo.

Como ya se mencionó el primer manto que se debe colocar es el impermeabilizante, este debe ir lo más adherido posible a la losa, para evitar filtraciones. Para esto se utilizan unas pequeñas bandas de PVC de aproximadamente 5 centímetros de ancho, estas se anclan a la losa con tornillos de acero y se colocan a cada 1,5 metros en el sentido transversal para después unirse al manto impermeabilizante, utilizando una soldadora de aire caliente, que al calentarse se funden y se unen completamente.

Figura 36. Colocación de bandas de anclaje en la losa I



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 37. **Colocación de bandas de anclaje en la losa II**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Luego de haber colocado estas bandas se debe colocar una especie de colchón para proteger al manto de grumos e imperfecciones que se encuentran en la losa, pues estos pueden dañar el manto impermeabilizante. Para lo cual se utiliza un manto de geotextil y se coloca por toda la superficie de dicha instalación.

Figura 38. **Colocación de colchón para evitar daños en manto impermeabilizante**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Una vez colocado el geotextil, se procede nuevamente a colocar las bandas de PVC justo por encima de donde se encuentran las anteriormente instaladas y se procede a ensayar la forma de colocar el manto impermeabilizante, pues este viene en rollos de 1,5 metros de ancho por 10 metros de largo.

Figura 39. **Proceso inicial de instalación de manto impermeabilizante I**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 40. **Proceso inicial de instalación de manto impermeabilizante II**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Con los cortes y dimensiones del manto impermeabilizante ya preparados se iniciaran a pegar con las bandas de PVC derritiéndolas lo necesario con la soldadora de aire caliente. Se inició a soldar desde la parte más baja de la losa hacia la parte más alta.

Figura 41. **Colocación de manto impermeabilizante de PVC I**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 42. **Colocación de manto impermeabilizante de PVC II**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 43. **Colocación de manto impermeabilizante en bordes**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

En las siguientes figuras se observan algunos detalles finales de la instalación de este manto.

Figura 44. **Protección de tuberías de conexiones varias**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 45. **Colocación de impermeabilizante en descargas de agua**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

El siguiente procedimiento era colocar el manto drenante, este debía tener un traslape de 15 centímetros entre cada rollo. Y se coloca sobrepuesto, así que no requiere de algún adherente o sello especial.

Figura 46. **Colocación del manto drenante I**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 47. **Colocación del manto drenante II**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Y por último, solo queda adherir el geotextil por encima del sistema drenante, previo a la colocación de la tierra y la capa vegetal. Este geotextil debe ser pegado con un aditivo especial en todo el borde de la instalación del techo verde, para evitar problemas con su funcionamiento.

Figura 48. **Colocación de geotextil**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Ya terminado este proceso de instalación que requirió la contratación de personal especializado se pueden iniciar la colocación de la capa de tierra.

Para esta parte se coloca tierra hasta alcanzar un grosor de 10 centímetros aproximadamente, con el personal proporcionado por el Ingenio Magdalena.

Figura 49. **Colocación de tierra I**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 50. **Colocación de tierra II**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Haciendo uso de las recomendaciones generales aquí indicadas(ver sección 2.3.2., viñetas 1 y 2, se decide dejar una franja de piedrín perpendicular al perímetro de las descargas de agua pluvial y de riego.

Figura 51. **Espacio para franja de piedrín**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 52. Franja de piedrín



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Por último, la colocación de la grama, esta se debe colocar ya desarrollada y preparada en forma de rollos con una pequeña capa de tierra donde ya creció la planta, comúnmente llamado tepe. Los tepes de grama se colocaron en forma ascendente de la pendiente de la losa.

Figura 53. **Colocación de tepes de grama I**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 54. **Colocación de tepes de grama II**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Durante la colocación de la grama se debe estar regando agua, constantemente para que la grama se vaya adaptando al espacio de la instalación.

Luego de terminar de colocar la capa vegetal, se debe proteger el perímetro del borde con una lámina metálica inoxidable, su función será proteger los mantos de PVC de cualquier corte o ruptura que puedan tener cuando se le dé mantenimiento a la capa vegetal.

Figura 55. Colocación de protección perimetral en el borde



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Y por último paso, se procede con los acabados estéticos, se sembró falso maní, que es una planta de raíz extensiva adecuada para la instalación. Además, se colocaron piedras de gran tamaño para darle mejor aspecto.

Figura 56. **Acabados finales a la instalación**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 57. **Techo verde tipo extensivo ya instalado**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

La siguiente imagen se tomó después de dos meses de la instalación.

Figura 58. **Techo verde tipo extensivo**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

El tiempo de la instalación en total duró 21 días laborales. Los primeros 12 dedicados a la instalación de los mantos impermeabilizantes; 5 para la colocación de la tierra; 2 para la colocación de los tepes de grama y 2 más para la colocación de la lámina protectora y las piedras grandes.

4.4. Relación volumen/peso del techo verde en temporal seco y temporal húmedo

Los valores se tomaron durante la llegada del invierno, captando el agua de invierno y observando sus variaciones, las cuales no fueron más allá de 2 a 5 libras. Esto al final no representa un mayor valor al peso estructural que aporta el techo verde tipo extensivo.

Figura 59. **Aparato para la medición de temperaturas**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Las mediciones iniciaron justo antes de la instalación del techo verde, estas se realizaron en el área de la sala y comedor además, de la parte exterior de la losa.

Dos meses después de la instalación, el aparato mostro las diferencias entre la losa tradicional y el espacio del techo verde.

Figura 60. **Registro de variación de temperatura en la instalación realizada, durante la décimo segunda semana**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

Figura 61. **Registro de variación de temperatura en la instalación realizada, durante la décimo octava semana**



Fuente: casa ubicada en las instalaciones de Ingenio Magdalena.

En la siguiente tabla se observan los valores obtenidos para las áreas externas en función del tiempo.

Tabla I. **Comportamiento de la variación de temperatura exterior**

Temperatura sin instalación (°C)	Temperatura con instalación (°C)	Tiempo (semanas)
0	0	0
52	0	1
53,1	0	4
52	0	8
51	40	12
50,2	39,4	13
52,8	41,2	14
49	38,5	15
50	39,2	16
52	41,2	18

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

En la siguiente tabla se observan los valores obtenidos para las áreas internas en función del tiempo.

Tabla II. **Comportamiento de la variación de temperatura interior**

Temperatura sin instalación (°C)	Temperatura con instalación (°C)	tiempo (semanas)
0	0	0
29	0	1
32,2	0	4
33,6	0	8
32,8	29,2	12
31,4	27,8	13
31,2	27,8	14
30,5	28,2	15
30,4	27,3	16
30,1	27,6	18

Fuente: elaboración propia, con base en resultados obtenidos.

En conclusión, los resultados reflejaron gradualmente un cambio de temperaturas, las cuales a comentarios de los habitantes de esta casa no solo redujo el uso del aire acondicionado, sino llegó hasta el punto de apagarlo y simplemente utilizar los ventiladores del techo existentes.

Estos buenos resultados traerán como beneficio la reducción de costos de energía eléctrica gradualmente a los propietarios de la casa.

5. COSTOS, TIEMPO DE INSTALACIÓN Y VIDA ÚTIL

5.1. Costos medios de instalación

Los costos que aquí se describen representan los trabajos necesarios para obtener la losa apta para la instalación de un techo verde tipo extensivo. Por consiguiente se debe considerar que se incluyen aquellos trabajos correspondientes a la nivelación de la losa, el levantado del muro que delimitaría al techo verde y las descargas pluviales que se elaboraron.

Tabla III. **Costo total mano de obra y materiales de los trabajos preliminares**

Presupuesto de Trabajos Preliminares				
Mano de Obra				
Descripción	cantidad	unidad	precio unitario	total
Limpieza general de losa	121,00	m2	Q 3,50	Q 423,50
Aplicación de concreto para nivelación de losas	7,8	ml	Q 65,00	Q 507,00
Elaboración de muro perimetral, pineado y alizado	39,84	ml	Q 20,00	Q 796,80
Fabricación e instalación de bajadas pluviales	4	unidad	Q 95,00	Q 380,00
Aplicación de concreto en salidas de conexiones varias	1	global	Q 250,00	Q 250,00
Total de Mano de obra				Q 2 357,30
Materiales				
Descripción	cantidad	unidad	precio unitario	total
Cemento	46	m3	Q 65,00	Q 2,990,00
Arena	3	m3	Q 75,00	Q 225,00
Block de pomez de 0,14*0,19*0,39	100	unidad	Q 4,00	Q 400,00
Varilla de 1/4"	7	unidad	Q 8,95	Q 62,65
Electromalla de 6/6	1	unidad	Q 125,33	Q 125,33
Alambre de amarre	35	lbs	Q 4,14	Q 144,90
Tabla de pino	10	unidad	Q 50,00	Q 500,00
Paral rectangular de 3"x2"	5	unidad	Q 40,00	Q 200,00
Clavo de 3"	10	lbs	Q 4,00	Q 40,00
Total de materiales				Q 4 687,88
Total trabajos preliminares				Q 7 045,18

Fuente: elaboración propia.

Este caso sirve de base para las consideraciones que se deben tener al momento de la instalación de un techo verde tipo extensivo o Intensivo si así se desea.

5.1.1. Presupuestos de inversión

Para fines de interpretación de costos, el área total del proyecto evaluado es de 121 metros cuadrados. Dado que se realizó considerando la instalación de un techo verde tipo extensivo, por las condiciones de la edificación. Se detallan a continuación los presupuestos de inversión que se manejaron.

Nuevamente para demostrar sus costos reales, se realiza el presupuesto de inversión figurando que se quisiera instalar un techo verde tipo Intensivo, el cual se le hubiera asignado un grosor de 0,70 de capa vegetal para integrar otro tipo de plantas.

5.1.1.1. Techo verde tipo extensivo

En la siguiente tabla se describen aquellos costos exclusivos a la instalación del techo verde tipo extensivo, como lo es, el suministro y la instalación de mantos impermeabilizantes, mantos drenantes y la instalación de la capa vegetal. Este costo por metro cuadrado promedio, contrario a los trabajos de obra gris. Se puede aplicar a su mayor parte a cualquier tipo de techo en donde se desea instalar, pues es del tipo genérico, es decir, que generalmente es la misma instalación que se aplica en todas partes.

Tabla IV. **Presupuesto de inversión de tipo extensivo**

Techo Verde Tipo Extensivo				
Mano de obra				
Descripción	cantidad	unidad	precio unitario	total
Instalación de mantos impermeabilizantes	121	m2	Q 125,00	Q 15 125,00
Instalación de tierra negra (profundidad de 0,17 m)	121	m2	Q 55,00	Q 6 655,00
Instalación de grama y piedrin	121	m2	Q 45,00	Q 5 445,00
Instalación de lámina perimetral de protección	1	global	Q 650,00	Q 650,00
Total de Mano de obra				Q 27 875,00
Materiales				
Descripción	cantidad	unidad	precio unitario	total
Geotextil	258,00	m2	Q 12,00	Q 3 096,00
Membrana de PVC	132	m2	Q 71,45	Q 9 431,40
Sistema drenante	121	0	Q 96,50	Q 11 676,50
Tierra abonada	80	saco	Q 10,00	Q 800,00
Grama San Agustin	121	m2	Q 15,00	Q 1 815,00
Lámina lisa calibre 26	8	unidad	Q 176,00	Q 1 408,00
Piedrin	0,5	m3	Q 65,00	Q 32,50
Total de materiales				Q 28 259,40
Total Presupuesto Inversión para un Techo Verde Tipo Extensivo				Q 56 134,40

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Techo verde tipo intensivo

Como se describió al inicio de este capítulo, se realizó este presupuesto con la finalidad de tener una idea, de cuánto se debe de invertir para obtener un techo verde tipo intensivo. Además de demandar mayor capacidad estructural, es necesaria una mayor capa de sustrato de tierra. Aquí se siembran una mayor cantidad de diversidad de plantas.

Tabla V. **Presupuesto de inversión de tipo intensivo**

Techo Verde Tipo Intensivo				
Mano de Obra				
Descripción	cantidad	unidad	precio unitario	total
Instalación de mantos impermeabilizantes	145	m2	Q 125,00	Q 18 125,00
Instalación de sistema de protección y barrera antiraíces	140	m2	Q 100,00	Q 14 000,00
Instalación de tierra negra (profundidad de 0,70 m)	121	m2	Q 95,00	Q 11 495,00
Instalación de grama, piedrín y plantas	121	m2	Q 70,00	Q 8 470,00
Instalación de descargas de agua y conexiones	85	ml	Q 22,00	Q 1 870,00
Instalación de lámina perimetral de protección	1	global	Q 650,00	Q 650,00
Total de Mano de obra				Q 54 610,00
Materiales				
Descripción	cantidad	unidad	precio unitario	total
Geotextil	282,00	m2	Q 12,00	Q 3 384,00
Membrana de PVC	140	m2	Q 71,45	Q 10 003,00
Sistema drenante	140	m2	Q 96,50	Q 13 510,00
Barrera de protección de raíces	120	m2	Q 85,00	Q 10 200,00
Manto de absorción foam	120	m2	Q 132,90	Q 15 948,00
Tierra abonada	340	saco	Q 10,00	Q 3 400,00
Grama San Agustín	121	m2	Q 15,00	Q 1 815,00
Lámina lisa calibre 26	8	unidad	Q 176,00	Q 1 408,00
Piedrín	2	m3	Q 65,00	Q 130,00
Tubería PVC de 4" para descarga de agua	6	unidad	Q 47,45	Q 284,70
Total de materiales				Q 60 082,70
Total Presupuesto Inversión para un Techo Verde Tipo Intensivo				Q 114 692,70

Fuente: elaboración propia.

En conclusión se deben analizar las recomendaciones que el instalador evalúe en el área de trabajo, para desarrollar un presupuesto acorde a los requerimientos y necesidades que se desean cumplir.

5.1.2. Tiempo promedio de la instalación

Los datos del proceso pueden tener un índice de avance conforme al área en donde se está instalando un techo verde.

Considerando los dos tipos de instalación, tanto extensivos como intensivos. El valor del avance variará en función de las características de cada uno de ellos.

5.1.2.1. En techo verde tipo extensivo

Se supervisaron los tiempos de ejecución del techo que se instaló en el Ingenio Magdalena. Considerando lo siguiente:

- Instalación de membranas: 18 días
- Instalación de sustrato de tierra: 4 días
- Instalación de capa vegetal y drenaje de piedrín: 6 días
- Instalación de lámina de protección perimetral: 1 día

En promedio se llevó alrededor de 1 mes hábil de trabajo.

5.1.2.2. En techo verde tipo intensivo

De esta información se obtuvieron datos de proyectos realizados en otros países, debido a los cuales se realizan con mayor intensidad pues en nuestro país no hay datos de ejecución. En promedio un techo tipo intensivo lleva alrededor de tres meses hábiles de trabajo.

5.1.3. Vida útil

La vida útil de un techo verde es el tiempo de duración en el cual se considera funcional, sin embargo, la probabilidad de llegar a tener problemas estructurales o de mantenimiento con lo que se llegue a considerar removerse son poco remotos, debido principalmente a que si se le da el mantenimiento correcto y preventivo puede durar el tiempo que se le considere útil.

A esto debe agregarse que un techo verde adicionalmente ofrece conservación de calor y protección contra él mismo en el verano, lo que para una comparación de costos debería tomarse en cuenta.

5.1.3.1. Techo verde tipo extensivo

La vida útil de un techo verde tipo extensivo se han obtenido estudios que indican que su tiempo ideal es de 50 años, que en consideraciones generales es el tiempo de vida que se le da a una edificación.

5.1.3.2. Techo verde tipo intensivo

Similar a otros tipos de techos verdes, el tipo intensivo tiene un promedio de vida útil de 50 a 70 años de vida útil, por lo que es importante considerar que el mantenimiento correcto e inspecciones periódicas brindarán el tiempo adecuado que va de la mano con la utilidad de la edificación.

CONCLUSIONES

1. Los techos verdes representan una serie de técnicas innovadoras de construcción, las cuales se deben tomar en cuenta en países en vías de desarrollo, con el fin de promover el cambio adecuado para la preservación y optimización de los recursos naturales de los cuales se hace uso habitualmente.
2. El techo verde tipo extensivo en términos económicos y estructurales es el más adecuado para instalarse ya que es de fácil acceso y su procedimiento es bastante sencillo, lo que permite hacerlo viable en cuanto se considera adecuado para una edificación.
3. El techo verde tipo intensivo presenta mayores ventajas en cuanto a sus cualidades debido a la cantidad de vegetación que se utiliza, la cual lo hace beneficioso en aspectos económicos a la edificación pues reducirá costos de uso de aires acondicionados, entre otros elementos que usualmente representan costos directos de la energía eléctrica.
4. En términos estructurales un techo verde tipo extensivo es en su mayoría adecuado tanto para edificaciones nuevas como existentes, debido a que no representa mayores valores de esfuerzos estructurales.

5. Un techo verde tipo intensivo debido a su peso estructural se debe considerar principalmente para edificaciones nuevas o que se construirán, ya que el diseño estructural debe incluir en sus cálculos dicho factor pues este influirá en el diseño de las vigas y columnas, así como de su cimentación.

6. Los beneficios ecológicos que se han obtenido de estas técnicas de construcción han permitido que se formulen o dicten leyes y normas que muchos países están considerando aplicar, pues el beneficio hace contraste con los problemas derivados de la contaminación ambiental, la sobrepoblación y las emisiones de agentes contaminantes en el aire.

7. Los datos obtenidos durante el experimento fueron notorios tanto para los que realizaron la instalación, como para los que habitan dicha casa, lo cual hizo un cambio en el uso del aire acondicionado y por ende en el costo de uso de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Es importante realizar un presupuesto preliminar para relacionar un costo beneficio de la instalación del techo verde.
2. Las asesorías por parte de expertos en la instalación es de vital importancia a considerar en el país, debido a que son pocos los lugares donde se han considerado instalar, lo cual nos puede representar riesgos de no tomar en cuenta algunos aspectos y detalles que solo son aplicables en el país.
3. Se debe evaluar la ubicación y la vegetación de la zona, para definir qué tipo de plantas se sembraran en el techo verde.
4. El riego y mantenimiento debe ser primordial y constante durante los primeros tres meses, para que las plantas desarrollen su habitat y clima adecuado para su funcionamiento.
5. En Guatemala está surgiendo una asociación llamada GGBC (Consejo Guatemalteco de Edificaciones Sostenibles por sus siglas en inglés) la cual brinda información relevante y concisa respecto a estos temas, lo cual representa una herramienta importante a considerar si se desea formar parte de este tipo de edificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. CICERONE, Daniel; SANCHEZ-PROAÑO, Paula; REICH, Silvia. *Contaminación y medio ambiente*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba, 2005. 203 p.
2. Elmich Landscape. *Enhancing the enviroment with Green roof system*. 2007. p. 1-6.
3. MINKE, Gernot. *Techosverdes, planificación, ejecución y consejos prácticos*. España. Ediciones Fin del Siglo, Reeditado: Agosto 2010. 86 p.
4. NATIONAL GEOGRAPHIC. *¿Qué es el calentamiento global?*<http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/calentamiento-global-definicion>. [Consulta: 20 de noviembre 2013.]
5. Norma ASTM (American Society for Testing and Materials)E 2400. *Guía de selección, instalación y mantenimiento de plantas para los sistemas de techos verdes*. Pennsylvania, USA: ASTM, 2007. 4 p.
6. _____. WK14283. *Terminología, Principios y Conceptos relacionados con la construcción de sistemas de techos verdes con vegetación*. Pennsylvania, USA: ASTM, 2007. 193 p.

7. Prensa Libre, Sección Internacional Actualidad. *Ciudades Ecológicas Atenúan Contaminación*. Guatemala, 26 de julio de 2009. p. 28.
8. University of California Magazine. *Green Roofs for Healthy Cities: About Green Roofs*. California, USA: 2008. 52 p.
9. WARK, Christophe G. *The construction Specifier*, Green roof Specifications and Standards.USA. 2007. Vol 56, No 8. 12 p.