



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LAS AZOTEAS VERDES EN LA INGENIERÍA CIVIL,
CASO DE ESTUDIO: IXTAPA - ZIHUATANEJO.

TESIS PROFESIONAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:
CHRISTOPHER ADÁN PÉREZ DE LA O

ASESOR DE TESIS:
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RICARDO RUIZ CHÁVEZ



MORELIA, MICHOACÁN, DICIEMBRE DE 2015.

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco principalmente a Dios por darme la capacidad, la paciencia, la inteligencia y todas aquellas características que me hicieron estar hoy en día finalizando uno de los principales proyectos de mi vida.

Agradezco infinitamente a mis padres, Adán Pérez de la O y Yolanda de la O Mayares, aquella pareja de extraordinarios seres humanos, mis ángeles guardianes, que me han apoyado incondicionalmente en cada una de las etapas, sé que cuento con ellos, y ellos deben saber que cuentan conmigo, sé que les estoy dando un poco de orgullo, una pequeña parte de la cual yo siento por ustedes, mis viejos, mis ídolos, mis protectores, mis confidentes y sobre todo mis mejores amigos. Es aquí cuando me doy cuenta que cada regaño, cada consejo, cada charla, cada silencio, todo lo que me han dado y hecho por mí, es por algo.

Mis hermanos, María Irais y Zikem Perez de la O, aquellas dos personas sin comparación alguna, gracias a ustedes, a sus peleas, regaños, y sobre todo por estar ahí cuando los necesito. Mi gran equipo, gracias.

Mi familia, parte fundamental de esto, he recibido tanto de ustedes, que a veces no sé qué hice para merecerlo, otras veces, me han hecho sentir el hombre más feliz del mundo, han llenado mi corazón y cuerpo de tantos sentimientos bonitos, que no sé dónde guardo todo esta felicidad.

Agradezco a mi amigo, mi profesor y asesor de tesis, al Ing. Ricardo Ruiz Chávez, por la paciencia que me ha tenido ya durante un par de años, por sus consejos, por sus charlas y sobre todo por ser parte de esto.

A una persona en especial, Raquel Vieyra Cortes, a la cual le debo tantos aprendizajes, tanta fuerza y ánimos que me dio para seguir en esto, parte fundamental en los inicios de esta aventura, agradezco el tiempo en cual me enseñó a no rendirme, a darme motivos para superarme y sobre todo el cariño que regalo, tu mi persona especial.

Quisiera nombrar a cada uno de mis amigos, de esas personas tan especiales, que me hicieron más amena la estancia en la facultad, que me regalaron risas, enojos, consejos, tiempos y sobre todo su compañía, gracias a cada uno de ustedes.

Un aplauso para ustedes, mis seres queridos!!

Contenido

| | |
|--|-----|
| RESUMEN | VI |
| ABSTRACT..... | VII |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 2 |
| 2. OBJETIVOS..... | 4 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 4 |
| 2.2. OBJETIVOS PARTICULARES | 4 |
| 3. ANTECEDENTES..... | 6 |
| 3.1. MARCO NORMATIVO FEDERAL | 7 |
| 3.1.1 LEY DE DESARROLLO URBANO DEL DISTRITO FEDERAL | 8 |
| 3.1.2 GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL..... | 8 |
| 3.1.3. ASOCIACIÓN MEXICANA PARA LA NATURACIÓN DE AZOTEAS (AMENA) | 8 |
| 3.1.4 COMISIÓN DE RECURSOS NATURALES DE LA SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL (CORENA) | 9 |
| 3.2 MARCO NORMATIVO LOCAL | 9 |
| 3.3. LINEAMIENTOS INTERNACIONES | 10 |
| 3.3.1. TECHOS VERDES PARA CIUDADES SALUDABLES (GRHC) | 11 |
| 3.3.2 ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE AZOTEAS VERDES (IGRA) | 12 |
| 4. BENEFICIOS EN LA INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA VERDE..... | 14 |
| 4.1 BENEFICIOS ECONÓMICOS | 14 |
| 4.1.1. BENEFICIOS FISCALES | 14 |
| 4.1.2. BENEFICIOS TÉRMICOS..... | 15 |
| 4.1.3 VIDA ÚTIL DE LA CUBIERTA..... | 17 |
| 4.2 BENEFICIOS AMBIENTALES | 17 |
| 4.2.1 BENEFICIOS EN CALIDAD DEL AIRE | 17 |
| 4.2.2 BENEFICIOS EN LA HUMEDAD. | 18 |
| 4.2.3 BENEFICIOS RESPECTO A LOS HÁBITAT | 19 |
| 4.2.4 BENEFICIOS EN LA TEMPERATURA. | 19 |
| 4.2.5 BENEFICIOS EN LA RETENCIÓN DE AGUA | 19 |
| 4.3 BENEFICIOS SOCIALES..... | 20 |
| 4.3.1 BENEFICIOS RESPECTO A LA SALUD | 20 |
| 4.3.2. BENEFICIO EN LO ESTÉTICO..... | 21 |

| | |
|--|----|
| 5. COMPARATIVOS DE CIUDADES QUE HAN IMPLEMENTADO SISTEMAS DE AZOTEAS VERDES | 23 |
| 5.1 CIUDADES QUE HAN IMPLEMENTADO ESTE SISTEMA A NIVEL NACIONAL | 23 |
| 5.1.1 CIUDAD DE MÉXICO | 24 |
| 5.1.2 CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN | 26 |
| 5.1.3 CIUDAD DE MONTERREY, NUEVO LEÓN | 26 |
| 5.1.4 CIUDAD DE GUADALAJARA, JALISCO | 27 |
| 5.2 PAÍSES QUE HAN IMPLEMENTADO EL SISTEMA DE AZOTEAS VERDES A NIVEL INTERNACIONAL | 28 |
| 5.2.1 ALEMANIA | 29 |
| 5.2.2 ESPAÑA | 30 |
| 5.2.3 ESTADOS UNIDOS | 31 |
| 5.2.4 CANADÁ | 32 |
| 5.2.5 SINGAPUR | 32 |
| 5.2.6 INGLATERRA | 33 |
| 5.2.7 FRANCIA | 33 |
| 6. REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA VERDE | 35 |
| 6.1. SUPERFICIE REQUERIDA | 37 |
| 6.2. MATERIALES DE LA SUPERFICIE | 38 |
| 6.2.1. SUPERFICIE DE CONCRETO | 38 |
| 6.2.2. SUPERFICIE DE PIEDRA | 39 |
| 6.2.3. SUPERFICIE DE MADERA, TEJA Y LÁMINAS | 40 |
| 6.3 TIPO DE VEGETACIÓN | 40 |
| 6.3.1 VEGETACIÓN DE TIPO ORNATO | 41 |
| 6.3.2 VEGETACIÓN DE TIPO HORTALIZA | 41 |
| 6.3.3 OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN | 42 |
| 6.4 PARTICIPACIÓN SOCIAL | 43 |
| 6.5 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA | 44 |
| 6.6 RECURSOS EN LOS MATERIALES DE UNA AZOTEA VERDE | 45 |
| 6.7 PROCESO INTEGRATIVO | 45 |
| 6.7.1 SOPORTE ESTRUCTURAL | 46 |
| 6.7.2 SISTEMA DE DESALOJO DE AGUA | 47 |
| 6.7.3 AISLAMIENTO TÉRMICO | 47 |
| 6.7.4 MEMBRANA IMPERMEABLE ANTI RAÍZ | 48 |
| 6.7.5 CAPA DRENANTE | 50 |
| 6.7.6 CAPA FILTRANTE | 51 |
| 6.7.7 CAPA DE SUBSTRATO | 52 |

| | |
|--|-----------|
| 6.7.8 CAPA DE VEGETACIÓN..... | 53 |
| 6.7.9 ACCESO A LA AZOTEA | 54 |
| 7. CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVAS | 56 |
| 7.1 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL | 57 |
| 7.1.1 LOSAS PERIMETRALES. | 58 |
| 7.1.2 REVISIÓN DE LOSA YA CONSTRUIDA. | 62 |
| 7.2 CONSIDERACIÓN DE DRENAJE Y PENDIENTE | 64 |
| 7.2.1 CAPA DRENANTE. | 64 |
| 7.2.2 PENDIENTES REQUERIDAS | 65 |
| 7.3 AISLAMIENTO TÉRMICO Y DE RAÍCES | 66 |
| 7.3.1 AISLAMIENTO TÉRMICO..... | 66 |
| 7.3.2. MEMBRANA IMPERMEABLE ANTI-RAÍZ | 66 |
| 7.4 SISTEMA DE DRENAJE INTERNO DE LA AZOTEA VERDE | 67 |
| 7.5 MEDIOS DE SOPORTE DE LA VEGETACIÓN | 68 |
| 7.6 TIPO DE VEGETACIÓN..... | 68 |
| 8. PROPUESTA DE CASO DE ESTUDIO | 70 |
| 8.1. DISEÑO DE LA LOSA EN UNA CASA HABITACIÓN NUEVA. | 70 |
| 8.2 ELECCIÓN DE LA VEGETACIÓN | 70 |
| 8.2.1 DESALOJO DE PRECIPITACIÓN EXCESIVA. | 72 |
| 8.2.2 CAPAS BÁSICAS DE LA AZOTEA VERDE. | 73 |
| 8.2 CARACTERIZACIÓN DE AZOTEAS DEL CASO DE ESTUDIO | 73 |
| 8.3 ANÁLISIS DE COSTO POR METRO CUADRADO DE AZOTEA VERDE | 75 |
| 8.4 RELACIÓN COSTO - BENEFICIO..... | 75 |
| 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 77 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA..... | 79 |
| ANEXOS 1. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las Especificaciones Técnicas para la Instalación de Sistemas de Naturación en el Distrito Federal (Secretaría del Medio Ambiente)..... | 81 |
| ANEXOS 2. Análisis de costos de una azotea verde en la población de Ixtapa-Zihuatanejo..... | 105 |
| ANEXOS 3 Diseño de una losa..... | 112 |

CONTENIDO DE FIGURAS.

| | |
|---|----|
| FIG. 4. 1. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS EN VERANO DE UNA AZOTEA VERDE EN KASSEL, ALEMANIA. | 16 |
| FIG. 4. 2. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS EN INVIERNO DE UNA AZOTEA VERDE EN KASSEL, ALEMANIA. | 16 |
| FIG. 4.3. COMPARACIÓN DE UNA AZOTEA CONVENCIONAL CONTRA UNA AZOTEA VERDE CON 10 CM DE ESPESOR DE SUSTRATO. | 20 |
| FIG. 5. 1. GLORIETA DEL METRO INSURGENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE METRO, DISTRITO FEDERAL. | 24 |
| FIG. 5. 2. HOSPITAL DE ESPECIALIDADES DR. BELISARIO DOMÍNGUEZ, DISTRITO FEDERAL. | 25 |
| FIG. 5. 3. POLIFÓRUM DIGITAL, MORELIA, MICHOACÁN. | 26 |
| FIG. 5. 4. MUSEO DEL ACERO, PARQUE LA FUNDIDORA, MONTERREY, N. L. | 26 |
| FIG. 5. 5. FRACCIONAMIENTO “EL ACANTILADO” EN ZAPOPAN, JALISCO. | 27 |
| FIG. 5. 6. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE FRANKFURT, ALEMANA. | 29 |
| FIG. 5. 7. EDIFICIO EMPRESARIAL DE BDL, LOGISTILZENTRUM, ALEMANIA. | 29 |
| FIG. 5. 8. BANCO SANTANDER, MADRID, ESPAÑA. | 30 |
| FIG. 5. 9. PARQUE EXPO ZARAGOZA, ESPAÑA. | 30 |
| FIG. 5. 10. MILLENNIUM PARK, CHICAGO, EE.UU. | 31 |
| FIG. 5. 11. DEARBORN TRUCK ASAMBLEA, DEARBORN MICHIGAN, EE.UU. | 31 |
| FIG. 5. 12. LA ALDEA, VANCOUVER, CANADÁ. | 32 |
| FIG. 5. 13. CAMPUS REPUBLIC POLYTECHNIC, SINGAPUR. | 32 |
| FIG. 5. 14. JUBILEE PARK, CANARY WHARF, LONDRES, INGLATERRA. | 33 |
| FIG. 5. 15. MUSEO L’ HISTORIAL DE LA VENDÉE, LES LUCS SUR BOULOGNE, FRANCIA. | 33 |
| FIG. 6. 1. AZOTEA INDIRECTA. | 35 |
| FIG. 6. 2. NATURACIÓN INTENSIVA. | 36 |
| FIG. 6. 3. PLANTA DE ORNATO Y SISTEMA DE NATURACIÓN SEMI-EXTENSIVA. | 41 |
| FIG. 6. 4. CASAS TRADICIONALES CON PANES DE CÉSPED. | 43 |
| FIG. 6. 5. COMPONENTES BÁSICOS DE UNA CUBIERTA NATURADA. | 45 |
| FIG. 6. 6. SOPORTE ESTRUCTURAL. | 46 |
| FIG. 6. 7. ESPUMA DE POLIETILENO. | 47 |
| FIG. 6. 8. UNIONES CON MURETES. | 48 |
| FIG. 6. 9. REFUERZO DE LA MEMBRANA ANTI-RAÍZ IMPERMEABILIZANTE. | 49 |
| FIG. 6. 10. REPRESENTACIÓN DE LAS CAPAS DE LA MEMBRANA Y TUBERÍA. | 49 |
| FIG. 6. 11. LAMINA DRENANTE PLATON DE-25. | 50 |
| FIG. 6. 12. LAMINA GEOTEXTIL POLYF EELT® F. | 51 |
| FIG. 6. 13. CAPA DE SUSTRATO. | 52 |
| FIG. 6. 14. NATURACIÓN DE TIPO INTENSIVA Y CAPA DE VEGETACIÓN. | 53 |
| FIG. 7. 1. VALORES DE LA DEFLEXIÓN LATERAL. | 63 |
| FIG. 8. 1. UBICACIÓN DE LAS COLADERAS PARA LA BAJADA DE AGUA PARA CONSTRUCCIÓN NUEVA. | 72 |

CONTENIDO DE TABLAS.

| | |
|--|----|
| TABLA 6. 1. CARGAS ADICIONALES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE NATURACIÓN. | 38 |
| TABLA 6. 2. VALOR PARA LOS PARÁMETROS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE NATURACIÓN. | 38 |
| TABLA 6. 3. RELACIÓN DE MATERIALES PARA ELABORAR 1 M3 DE CONCRETO CON DIFERENTES RESISTENCIAS. | 39 |
| TABLA 7. 1. COEFICIENTES DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA TABLEROS RECTANGULARES. | 60 |
| TABLA 7. 2. EQUIVALENCIAS PARA PENDIENTES DE PORCENTAJES A GRADOS. | 65 |
| TABLA 8. 1. CANTIDAD DE VIVIENDAS POR TIPO DE LOSA EN LA LOCALIDAD DE IXTAPA-ZIHUATANEJO. | 73 |
| TABLA 8. 2. CANTIDAD Y PORCENTAJES DE VIVIENDAS DE LOSA DE CONCRETO CON DIFERENTES PENDIENTES. | 74 |
| TABLA 8. 3. CANTIDAD DE VIVIENDAS CON LOS DIFERENTES TIPOS DE NATURACIÓN EN IXTAPA-ZIHUATANEJO. | 74 |

RESUMEN

Esta tesis profesional se enmarca dentro de los trabajos de investigación consistentes en la incorporación de una azotea verde a una vivienda existente. En los últimos años el desarrollo de tecnologías sustentables, han originado que las tendencias en el área de la construcción no se mantengan ajenas a esta, el analizar los beneficios que proporciona una azotea verde y con esto hacer un confort más adecuado en las viviendas, ha hecho que los esfuerzos se centren en la caracterización de los efectos sobre aquellas edificaciones, económicas y con beneficios medioambientales derivados de la aplicación de la naturación de azoteas.

Los trabajos de investigación parten del análisis del papel en el que las envolventes vegetales han tenido en relación a la arquitectura a lo largo de la historia; en la antigüedad, el uso de azoteas verdes, como regalos estéticos para reyes. El uso de este tipo de naturación por poblaciones pequeñas con climas extremos, en el que derivado de la examinación de su papel actual que, más allá de su reconocido valor estético, cada vez más cobra una función con carácter ambiental, debido al calentamiento global, donde las principales ciudades y de hecho las más pobladas del globo terrestre, fomentan a grandes escalas su incorporación dentro del entorno urbano.

Este documento se centra en México, en las ciudades que cuentan con normatividad al respecto, hablando de diseño, de construcción, de estructuración, así como de los diferentes tipos de incentivos que se proporcionan a aquellas entidades que implementen naturación en sus techos, y que ya cuentan con azoteas verdes de gran importancia tiene el país.

En este trabajo se hace un análisis general de los aspectos más importantes en la instalación de vegetación en los techos de la localidad de Ixtapa-Zihuatanejo, entre los aspectos más importantes se describen los climatológicos.

(Azotea verde, normatividad, sustentabilidad, construcción, estructuración, naturación)

ABSTRACT.

This professional thesis is a part of the investigative works within the incorporation of a green rooftop in an existent living place. In the last years the growth in sustainable technology, have originated tendencies in the construction area that don't stay beyond this, by analyzing the benefits that proportionate a green rooftop make a more comfortable and adequate housing, it has made the effort more centered in the characterization of the effects in those buildings, economics and with beneficial environment derived from the application of the green area in a rooftop.

The investigate works come from the analysis of the paper in which you wrap vegetables and their relation to the architecture through history; in the prehistoric times, the use of green rooftops, were like aesthetic gifts to kings. The use of this type of green area from small populations with extreme climates, that derived from examination from its actual paper, that far beyond its aesthetic value, grows more and more in its function within the environmental character, due to global warming, in which the principal cities in fact the more populated of the earth, foment in greater scale the incorporation within the urban environment.

This document is centered in Mexico, in the cities that count with regulations according to this topic, talking about its design, its construction, its structure, as well as the different types of initiatives that are proportionated to those entities that implement green areas in their ceilings, and that already count with green rooftops that are important to the country.

In this thesis there is a general analysis of the most important aspects in the installation of the vegetation in the ceilings in the locality of Ixtapa - Zihuatanejo, in between the most important aspects it describes the climatological ones.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

El presente documento está dirigido a la búsqueda de los beneficios sociales e individuales que conlleva la incorporación de una naturaleza en un espacio muerto; esto en un lugar que por lo general no tiene ningún uso, siendo este el caso de las azoteas. La conjunción de la sociedad y el medio ambiente conlleva al desarrollo armónico y sustentable de una región. El presente trabajo contempla la instalación de una azotea verde con la mejoría de éstos sistemas con técnicas normadas y si es el caso aplicar técnicas innovadoras para el mejoramiento del entorno.

La incorporación de una azotea verde, en el mejor de los casos, deberá hacerse en edificaciones nuevas, ya que se facilita las consideraciones necesarias para su construcción, estructuración y de mantenimiento en general, lo que proporcionaría confiabilidad a los inquilinos del inmueble. Parte de las actividades de este trabajo estarán en torno a la ejecución de azoteas ya construidas; esto con la finalidad de motivar la disminución de consumos de energía por uso de aire acondicionado. En el primer caso se deberá considerar los aspectos de diseño y construcción; en el segundo caso bastará hacer una revisión de lo ya existente. La participación de un ingeniero civil es de suma importancia en este tipo de proyectos.

La práctica de la instalación de una azotea verde se ha diversificado a nivel global, por lo que se abordaran en el presente trabajo ejemplos de aplicación a nivel mundial, nacional y local.

A nivel nacional, se revisará la legislación en la materia, así como los estímulos fiscales a los que se hace acreedor aquella persona que implementa una azotea verde.

Con acciones como la que se expondrá en este trabajo, en el que se le da vida a espacios muertos, se cambia la visión en el que la sociedad se integra al medio ambiente de manera armónica y sustentable. La participación del ingeniero civil en la modificación del entorno, juega un papel importante, y deberá ser pro activa en beneficio del impacto ambiental que se genera.

Este trabajo se centrará, a manera de ejemplo, en la población de Ixtapa – Zihuatanejo; siendo este un centro turístico de alta importancia a nivel nacional e internacional, que proyecte armonía y respeto al medio ambiente.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un documento técnico que cuente con las bases necesarias para la elaboración, diseño y construcción de una azotea verde; con el fin de analizar los costos, el tipo de vegetación, los beneficios y los procedimientos constructivos más recomendables para su correcta instalación; para todo lo anterior aplicado a la población de Ixtapa – Zihuatanejo, municipio de Zihuatanejo de Azueta, del Estado de Guerrero.

2.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar los beneficios que tiene la incorporación de un área natural en nuestras casas, edificios, oficinas, etc., tanto para nosotros como para el medio ambiente.
- Revisar la metodología adecuada para el diseño, elaboración, uso y mantenimiento de una estructura en la cual se pueda establecer una azotea verde.
- Analizar la relación costo – beneficio que conlleva la ejecución de una azotea verde.
- Elaborar un ejemplo de referencia para la zona de estudio; la cual aporte indicadores económicos que permitan la toma de decisiones.

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES

3. ANTECEDENTES

Las descripciones más antiguas de espacios verdes que se tienen son originarios de Egipto y Persia, que datan del año 2600 a.C., y se refieren a patios y huertos integrados en la vivienda, como medio de subsistencia y confort.

Los jardines colgantes de la antigua Babilonia (Bab-lim o Babil, puerta de Dios), son los más conocidos de la Historia. Babilonia ubicada en el actual Iraq al este del río Éufrates y al sur de Bagdad. Los jardines construidos por Nabucodonosor II entre los años 605 y 562 a.C., son considerados una de Las Siete Maravillas del Mundo Antiguo. Ocupan una superficie aproximada de 1600 km² y eran terrazas escalonadas construidas sobre un edificio abovedado. Las terrazas estaban impermeabilizadas y contaban con una capa de drenaje por debajo de la tierra. Además, el complejo sistema de canalizaciones aseguraba la aportación de agua necesaria para mantener la exótica vegetación de los jardines: pinos, palmas, cipreses, etc.

En Islandia las poblaciones locales solían cubrir el techo de las viviendas con tierra y césped para aumentar el aislamiento del edificio y así evitar que la nieve se acumulara encima del mismo. Esta tradición se ha mantenido hasta la actualidad en varios países del norte de Europa.

En Italia, las primeras cubiertas verdes se remontan a los Etruscos, que ya desde el siglo IV a.C., adornaban sus monumentos funerarios con cúmulos de tierra donde plantaban árboles. Algunas de estas construcciones han permanecido hasta nuestros días, pudiendo ser visitadas como la necrópolis de la Banditaccia, en Cerveteri (Roma); y Existen diversas ciudades amuralladas en las que se pueden encontrar jardines colgantes como en Lucca (Toscana, Italia) y la pequeña Pizzighettone (Lombardia, Italia).

En 1865 Von Rabitz escribe el primer libro sobre la utilidad de los jardines colgantes y los beneficios ecológicos derivados, siendo precisamente el siglo XIX el periodo cuando los elementos vegetales se ven revalorizados por aspectos sociales e higiénicos para la sociedad.

Posteriormente el arquitecto, basándose en los escritos de Von Rabitz, las cubiertas verdes ya no eran un capricho para ricos, sino un elemento ecológicamente funcional a recuperar en la estética de la arquitectura popular. Los jardines colgantes y techos verdes constituían una de las aportaciones más destacadas de la nueva arquitectura, como es descrito en el “Immeuble Villas” presentado en 1922 y en “Hacia una Arquitectura” que propone el uso de techo verde como elemento funcional residencial.

Ya en las décadas de los setentas, Alemania se considera como la ciudad más representativa de la era moderna en el tema de naturación, al desarrollar la técnica de las azoteas verdes, la cual poco después se prolongó por toda Europa, siendo Stuttgart, una de las primeras ciudades en otorgar beneficios fiscales por y para la implantación de azoteas verdes; Berlín adoptó medidas similares, con la condicionante de que toda nueva edificación que cuente con un área considerable, debe instalar una azotea verde como requisito.

Suiza, Holanda, Hungría, Suecia, Francia, Dinamarca, Austria, Inglaterra, entre otras más, cuentan con asociaciones para fomentar la instalación de azoteas verdes. En Linz, Austria, se otorgan incentivos a los constructores para que instalen azoteas verdes en las nuevas edificaciones. Francia ya cuenta con una ley para la implantación de azoteas verdes y/o paneles solares, ésta indica que los centros comerciales deben contar con un porcentaje de azoteas verdes respecto a los metros cuadrados de construcción que tenga la edificación y con una iniciativa para que esta ley incluya las nuevas edificaciones.

3.1. MARCO NORMATIVO FEDERAL

El interés de diversas instituciones llevó a la Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas Verdes a crear la primera norma para la instalación de sistemas naturados, la cual fue publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, bajo el numeral NADF-013-RNAT, dicha norma se consigna al apartado de anexos del presente trabajo. Esta norma cuenta también con algunas leyes que tiene poco impacto, las cuales promueven la implantación de azoteas verdes, siendo además la primera norma en Latinoamérica y colocando a México como uno de los países que encabezan este movimiento.

El interés es muy mínimo por parte de los Gobiernos Estatales y el Estado de Jalisco cuenta con un dictamen de decreto para el estímulo en el impuesto predial para aquellos que realicen instalaciones de azoteas verdes, propuesta realizada y aprobada a finales del año 2011.

3.1.1 LEY DE DESARROLLO URBANO DEL DISTRITO FEDERAL

La parte que corresponde a las azoteas verdes que en el Ordenamiento General de Normas de la Gaceta Oficial del Distrito Federal publicada el 8 de abril de 2005, indicado en el apartado numero 8 referente a instalación de azoteas verdes citado como “Instalaciones permitidas por encima del número de niveles”, serán permitidas en azoteas: proyectos de naturación, celdas de energía solar, antenas, lavaderos y tendederos; siempre y cuando el suelo y la estructura lo permita, y en el caso de áreas patrimoniales se deberá contar con el permiso del Instituto Nacional de Antropología e Historia, del Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura y de la Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda.

3.1.2 GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL

En 2011 se estipula en los siguientes artículos la instalación de azoteas verdes, por el Órgano de Difusión del Gobierno del Distrito Federal el 3 de mayo, con no. 1087.

Art. No. 87: se considera como área verde cualquier cubierta vegetal en vía pública, área o estructura con tecnología naturada instalada en azoteas de edificaciones.

Art. No 88, BIS 5: Se instalara, en la medida de lo posible, azoteas verdes por las autoridades locales del Distrito Federal sobre sus edificaciones, pero para los inmuebles patrimoniales; Instituto Nacional de Antropología e Historia, el Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura, y de la Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda, deberán contar con la autorización correspondiente, ya que estas edificaciones son consideradas históricas, además de ser parte del patrimonio cultural mexicano.

3.1.3. ASOCIACIÓN MEXICANA PARA LA NATURACIÓN DE AZOTEAS (AMENA)

La Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas (AMENA), es una asociación civil creada en 2005, con el objetivo de investigar, capacitar e informar de los beneficios ambientales, económicos y sociales que tiene la implantación de una azotea verde.

Esta asociación cuenta con la certificación de la Universidad Humboldt de Berlín Alemania (IASP) y de Green Roof for Healthy Cities (GRHC). Por lo que los miembros de esta asociación cuentan con un respaldo científico aprobado.

3.1.4 COMISIÓN DE RECURSOS NATURALES DE LA SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL (CORENA)

En junio de 2011, el Gobierno del Distrito Federal y la colaboración de CORENA pusieron en marcha un proyecto denominado “Plan Verde”, con el propósito de convertir a la Ciudad de México en una ciudad sustentable.

El plan verde consta de los siguientes apartados:

- Conservación del suelo
- Habitabilidad y espacio público
- Agua
- Movilidad
- Aire
- Residuos sólidos
- Cambio climático

En habitabilidad y espacio público, se cita: “Incremento de las áreas verdes y dotación de infraestructura, mobiliario urbano y elementos de accesibilidad para los espacios públicos.” y se plantea como objetivo lo siguiente: “Incrementar la superficie naturalizada de azoteas en edificios públicos del Distrito Federal con una superficie de 30,000 metros cuadrados para el 2012.”

3.2 MARCO NORMATIVO LOCAL

La ciudad de Ixtapa-Zihuatanejo no cuenta con ninguna norma ni estímulo fiscal, respecto a la construcción de azoteas verdes, sin embargo, se tomará como referencia la Norma Ambiental (NADF-013-RNAT) del Distrito Federal, los artículos publicados al respecto en la Gaceta Oficial, las publicaciones de instituciones gubernamentales y de las asociaciones civiles descritas anteriormente.

3.3. LINEAMIENTOS INTERNACIONES

Cada vez se suman más y más países a la iniciativa de naturizar sus edificios, así como a la creación de hacer leyes que regulen y fomenten la naturación de azoteas. Entre ellos se pueden enlistar Francia, Dinamarca, Canadá, Holanda, Alemania.

Hace un año se aprobó la ley, que obliga a que los tejados de las nuevas construcciones estén parcialmente cubierto por azoteas verdes o paneles solares. La nueva legislación fue aprobada por el Parlamento francés, aunque ha resultado más limitada de lo que propusieron en una primera instancia los activistas medioambientales, reduciéndose a edificios en zonas comerciales.

La ley francesa plantea objetivos ambiciosos: quiere reducir las emisiones de CO₂ en un 75% para el 2050, y doblar la cuota de renovables a un 32% para el 2030. Además plantea reducir en un 30% el uso de combustibles fósiles.

Alemania por su lado, a la par con Dinamarca, cuentan con grandes bonificaciones para las construcciones nuevas o existentes que opten por la implantación de azoteas verdes, otorgando beneficios tanto económicos como fiscales. Por lo cual son considerados como países en los que tiene gran repercusión en este tema y amigable con el calentamiento global.

América del Norte cuenta con “Green Roof of Healthy Cities (GRHC)”, Techos Verdes para ciudades Saludables, asociación que da capacitación y acredita a personas como capacitadas para el diseño, instalación y mantenimiento de techos verdes.

Por su lado en Latinoamérica, Colombia es un gran ejemplo, y en el año 2009 dio a conocer un proyecto que, implementa, promueve y estimula las tecnologías de creación de azoteas verdes en Bogotá, entre otras disposiciones ambientales. Acuerdo No. 386 del decreto 1421 de 1993, entrando en vigor a partir de su fecha de publicación.

No obstante existen países que aún no cuenta con su propia legislación respecto al tema, por lo cual se creó “The International Green Roof Association (IGRA)”, Asociación Internación de Azoteas Verdes. Con la finalidad de establecer lineamientos estándar para llevar a cabo la instalación de azoteas verdes.

Desde el 2005 hasta la fecha, se realizan periódicamente congresos internacionales con el objetivo de promover la creación de nueva infraestructura para la instalación de azoteas verdes, obtener mayor difusión y emprender la iniciación de nuevas instituciones que se encarguen de la regulación y verificación de las áreas naturadas. En México se llevó a cabo el primer congreso internacional de azoteas verdes a nivel Latinoamérica, esto en el año 2010.

3.3.1. TECHOS VERDES PARA CIUDADES SALUDABLES (GRHC)

Green Roof for Healthy Cities (GRHC) es una asociación fundada con la misión de desarrollar y proteger el mercado mediante el aumento de la conciencia de los beneficios económicos, sociales y ambientales de los techos verdes. En 2004 Techos Verdes para Ciudades Saludables se convirtió en una asociación de la industria formal, registrada como una organización sin fines de lucro, y que actualmente rige solo en América del Norte.

La misma otorga la acreditación a personas que diseñan, instalan y dan mantenimiento a los techos verdes, para lo cual es obligatorio pasar por un examen, donde se evalúan las habilidades del sujeto, lo que determina la capacidad de recibir o no dicha acreditación, de no ser así, ellos cuentan con cursos complementarios de capacitación, tales como:

- Diseño e instalación de techos verdes
- Impermeabilización y drenaje de techos verdes
- Plantas de techos verdes y de medios de cultivos

Estos cursos ofrecen a los participantes una amplia gama de disciplinas del conocimiento y las habilidades necesarias para comercializar, diseñar, presupuestar, instalar y mantener los techos verdes.

El acreditado por Green Professional es alguien capaz de gestionar un proyecto a través de las diferentes fases de diseño y construcción, y su papel principal es:

- Identificar los elementos en conjunto de los techos verdes
- Liderar el equipo de trabajo en el proyecto.
- Comprender las diferentes opciones para el diseño de techos verdes
- Maximizar los beneficios
- Comprender y resolver los principales desafíos que conlleva la instalación de techos verdes

Techos verdes para ciudades saludables (GRHC) en conjunto con la industria de capas para techos por sus siglas en inglés Single Ply Roofing Industry (SPRI), han desarrollado las siguientes Normas:

- Directrices para el diseño por incendio
- Diseño estándar por viento
- Procedimiento para la investigación de la resistencia a la penetración.

También cuentan con Normas adicionales las cuales incluyen las funciones múltiples de los medios de cultivo.

3.3.2 ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE AZOTEAS VERDES (IGRA)

The International Green Roof Association (IGRA), es una asociación que se describen como una red mundial con el fin de promover y difundir información sobre temas y tecnología de techos verdes, con miembros tales como organizaciones nacionales, institutos de investigación y compañías de techos verdes, que apuestan a las nuevas infraestructuras y tecnologías sobre techos verdes.

Dicha asociación regula los requisitos técnicos con respecto a la instalación de azoteas verdes, dando a conocer los diversos tipos de azoteas verdes, tipos de vegetación, conservación y mantenimiento. También establece criterios preventivos para que cada país cuente con lineamientos básicos y de esa forma puedan desarrollar leyes y normas propias sobre techos verdes.

La idea básica de IGRA es el apoyo del mercado de la azotea verde a nivel internacional mediante el intercambio de conocimientos y experiencias en el campo de la tecnología de los techos verdes. Sus objetivos principales son:

- Promoción mundial de la idea ecológica de techos verdes como una herramienta de desarrollo sustentable.
- Sensibilización de la población y de decisión política/negocio.
- Estimulación de las normas internacionales de buenas prácticas y de tecnología fiable.

Las directrices con las que cuenta IGRA en lo técnico constructivo son:

- Capacidad para el soporte de carga
- Protección contra incendios y temperatura.
- Protección contra ruido

Además esta asociación promueve programas de azoteas verdes en países que aún no tiene legislación sobre el tema. Y tiene políticas que proponen dar diversos incentivos a los propietarios de los inmuebles que ya cuentan con una azotea verde instalada, algunos de estos incentivos son:

- Incentivos financieros directos.
- Reducción de impuestos de aguas pluviales (drenaje)

La elección del incentivo, dentro de estos dos programas directos, dependerá del país si llega a tomar los dos o solo uno de ellos, y esto a su vez dependerá de la infraestructura del mismo y de cual sea su necesidad primordial.

|

CAPÍTULO 4
BENEFICIOS EN LA
INSTALACIÓN DE UNA
AZOTEA VERDE

4. BENEFICIOS EN LA INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA VERDE

Actualmente, con el crecimiento de la población y la acumulación de ésta en las grandes urbes, ha aumentado consecuentemente la concentración de edificios, grandes cantidades de calles pavimentadas y un considerable tránsito vehicular, lo que hace que nuestra vida cotidiana resulte insana, conduciendo a su vez a sobrecalentamiento de la atmosfera en estas zonas.

Según estudios, se sabe que en el centro de una gran ciudad, en noches de verano, se alcanzan, temperaturas en el aire de entre 4 a 11 °C, más altas que en los suburbios (Lòtsch 1981).Y si tomamos como base que en los barrios céntricos de las grandes ciudades un tercio de la superficie esta edificada, otro tercio corresponde a las calles y plazas, a su vez pavimentadas y solamente, el tercio restante corresponde a las superficies verdes sin pavimentar. Por lo que, si solo por cada cinco techos hubiera uno de césped, la superficie de hojas en esa ciudad se duplicaría.

De lo anterior, y con lo que ya se sabe, la instalación de azoteas verdes brindan beneficios de diferentes tipos, estos van desde beneficios sociales como particulares; ambientales como financieros; estéticos como de salud. Debido a que se obtienen muchos beneficios favorables en términos ambientales, instancias gubernamentales de países en todo el mundo fomentan el desarrollo de estos sistemas otorgando incentivos, ya sean de carácter fiscal y/o económico, esto hace que la participación social aumente. Dicho tipos de beneficios se mencionan a continuación.

4.1 BENEFICIOS ECONÓMICOS

Debemos dejar en claro que el costo inicial que conlleva la instalación de una azotea verde es elevado, pero más en claro que los recursos económicos invertidos en dicha instalación serán recuperados en su totalidad y dejando ganancias a largo plazo.

4.1.1. BENEFICIOS FISCALES

Son los beneficios referentes a las bonificaciones, exenciones y deducciones tributarias y, en general, a todos los casos previstos por la normatividad fiscal.

Hay países que están seriamente involucrados con el tema de medio ambiente, que han hecho leyes y/o reformas de carácter ambiental, en los cuales se exige la instalación de azoteas verdes en construcciones nuevas, solo así se les otorgarán los permisos necesarios para la construcción, otros países, dan bonificaciones en los casos de prediales e impuestos.

Como por ejemplo Alemania y Francia: en el primero de ellos, desde hace ya varias décadas, se han venido otorgando bonificaciones, dando como resultado que el 45 por ciento de las construcciones en sus ciudades cuenta con este sistema; en el caso de Francia, acaba de aprobarse una ley, la cual establece que en las nuevas construcciones se deben implementar azoteas verdes o celdas solares, para recibir los permisos de construcción.

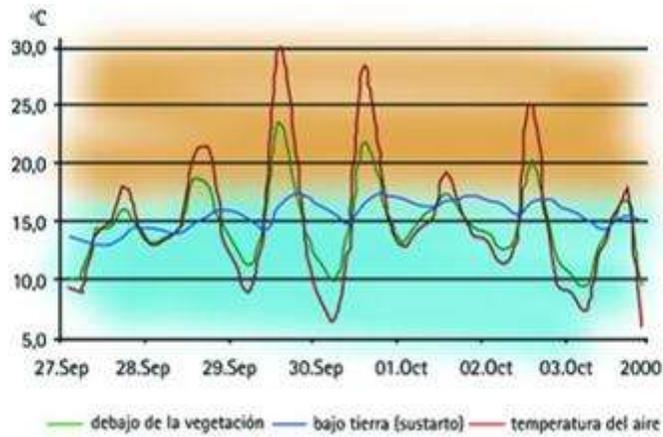
En la Ciudad de México se tiene que, a los propietarios de inmuebles que cuenten con áreas verdes que ocupen, cuando menos, el 30% de la superficie del terreno, se reducirá en un 10% el pago de predial de cada año, este beneficio lo otorga el Código Fiscal del Distrito Federal, publicado en la décima séptima sesión del 30 de diciembre de 2010 número 1001 Bis en el artículo 296, y cumpla con lo dispuesto en la Norma Ambiental 013 emitida por la Secretaria del Medio Ambiente. Asimismo, la Secretaria de Medio Ambiente establece que se deberá cumplir con lineamientos aplicables para dicho beneficio, los cuales se encuentran contemplados en la Gaceta Oficial del Distrito Federal con fecha 24 de junio de 2011. Para contar con este beneficio se debe presentar una constancia por parte de la Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, en la cual se acredite que existen áreas verdes en el predio.

4.1.2. BENEFICIOS TÉRMICOS

La vegetación de una azotea verde y su interacción con la relación a las condiciones climáticas, puede culminar en dos tipos de resultados:

- La vegetación impide el paso del viento al sustrato, esto se convierte en calefacción hacia la estructura, haciendo mayor la temperatura del interior que la del exterior del inmueble, por lo tanto se evitará el uso de calefactores en épocas de frío.
- En época de calor, la vegetación propicia la formación de rocío, ayudando a disminuir la temperatura del inmueble, reduciendo el uso del aire acondicionado. Científicamente se sabe que la vegetación libera aproximadamente 530 calorías por cada mililitro de agua, liberando energía calórica de la azotea.

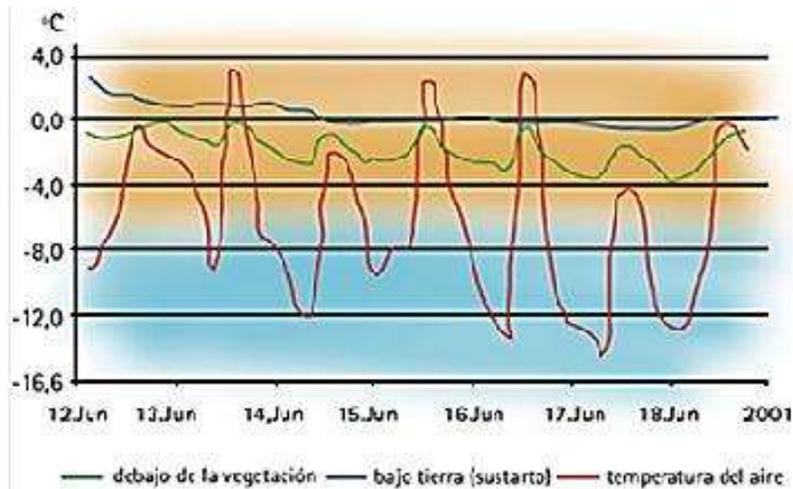
En la figura 4.1 se muestra un techo de pasto en Kassel (Alemania), con un sustrato de 16 cm de espesor para una temperatura exterior al mediodía de 30°C, debajo la vegetación 23°C y bajo la capa de sustrato solamente 17.5°C. (Robinette, 1972)



Fuente: Robinette, 1972

FIG. 4. 1. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS EN VERANO DE UNA AZOTEA VERDE EN KASSEL, ALEMANIA.

En la figura 4.2, en el mismo techo, se midieron en invierno, para una temperatura exterior de -14°C, solo 0°C, bajo la capa de sustrato.



Fuente: Robinette, 1972

FIG. 4. 2. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS EN INVIERNO DE UNA AZOTEA VERDE EN KASSEL, ALEMANIA.

Las curvas aclaran que un denso techo de pasto en verano tiene un efecto de enfriamiento considerable y en invierno muestra un muy buen efecto de aislamiento térmico.

4.1.3 VIDA ÚTIL DE LA CUBIERTA

Este beneficio se refleja en la longevidad de la vida del concreto en la losa, ya que un techo sin naturación tiene una duración de 15 a 25 años, mientras que en las azoteas verdes su periodo de vida se extiende hasta un 100% más. Esto se debe a que capas superiores brindan un recubrimiento adicional, evitando de esta forma el daño por exposición a la intemperie, mismo que altera las características físicas y químicas del concreto, propiciado por los cambios bruscos de temperatura.

En Alemania, según el 2º informe de daños en la construcción del Ministerio Federal para Ordenamiento de Espacios, Construcción y Urbanismo estableció que mientras que el 80% de los techos planos presentan los primeros daños después de 5 años construidos, un techo verde, con una correcta elección de la impermeabilización y una buena ejecución de las uniones, tiene una vida útil casi interminable (Gernot Minke, 2004)

4.2 BENEFICIOS AMBIENTALES

La principal ventaja de las azoteas verdes son aquellas de carácter ambiental, ya que ayuda en la reducción de la temperatura de la edificación y en la generación oxígeno, el cual ayuda al mejoramiento de la calidad del aire y combate a su vez el calentamiento global.

4.2.1 BENEFICIOS EN CALIDAD DEL AIRE

Contar con una azotea verde ayuda a retener y a filtrar las partículas suspendidas en el aire, debido a que éstas quedan adheridas a las superficies de las hojas, las cuales a su vez pueden absorben las partículas nocivas que se presentan en forma de gas y aerosoles. Se ha comprobado que en un m² de pasto se retiene anualmente aproximadamente 200 gramos de partículas suspendidas en el aire.

La vegetación de los techos verdes toma, como todas las plantas, CO_2 del aire y libera oxígeno. Esto sucede en el proceso de fotosíntesis, en el que 6 moléculas de CO_2 y 6 moléculas de H_2O , mediante un consumo de energía de 2,83 kJ, producen 1 molécula de $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (glucosa) y 6 moléculas de O_2 . En el proceso de la respiración, se produce CO_2 y se consume O_2 . Sin embargo solamente de 1/5 a 1/3 de las sustancias ganadas por la fotosíntesis son consumidas nuevamente. Conforme la cantidad de hojas verdes sobre los techos aumenten, se generará más oxígeno y se consumirá mayor CO_2 . Si existe un equilibrio entre el crecimiento y muerte de partes de las plantas, siempre existiría la ventaja de que se extraiga CO_2 del aire y quede almacenado en ellas.

Las investigaciones han demostrado que, en los barrios céntricos de las ciudades, considerados altamente contaminados, también los metales pesados son captados por las hojas (Bartfelder y Köhler 1986).

Mediciones sobre una calle federal suiza arrojan como resultado que un seto de 1 m de alto y 0,75 m de ancho reduce un 50%, a través de su efecto de filtro, la contaminación por plomo de la vegetación ubicada detrás de él. (Lötsch 1981).

4.2.2 BENEFICIOS EN LA HUMEDAD.

Las azoteas que cuentan con naturación tienen la ventaja de regular la humedad, es decir, en época de sequía cuando el aire es seco, la vegetación evapora agua que almacenaba en las raíces, aumentando relativamente la humedad del aire. En caso contrario cuando el ambiente es húmedo se presenta el proceso de formación de rocío, condensando la niebla para que de esta forma las gotas de agua se infiltren hacia la capa de sustrato, disminuyendo la humedad en el aire.

En estudios realizados en Kassel, Alemania, durante la época de sequía, la vegetación evapora aproximadamente 1'500,000 litros de agua por cada hectárea, cuando existe demasiada humedad en el aire la vegetación de un metro cuadrado puede transformar hasta medio litro de agua de rocío. (Robinette, 1972)

4.2.3 BENEFICIOS RESPECTO A LOS HÁBITAT

Como se sabe, la realización de nuevas construcciones propicia modificaciones en el suelo, eliminando la vegetación existente, y a su vez el hogar de diferentes tipos de flora y pequeña fauna. Con la creación de las azoteas verdes, se condiciona un nuevo hábitat, en el cual contendrá diferentes tipos de plantas y alojara pequeños insectos.

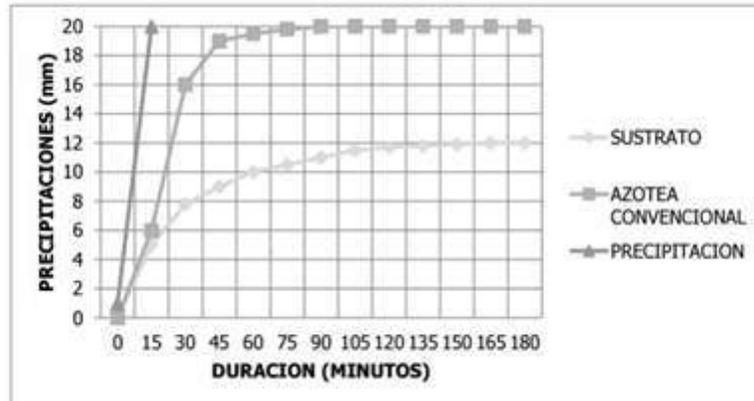
4.2.4 BENEFICIOS EN LA TEMPERATURA.

Por medio de algunas funciones y capacidades de la vegetación tales como: la fotosíntesis, la evapotranspiración y la capacidad de almacenar calor de su propia agua, que la planta extrae o libera calor hacia el ambiente, ayudando a la regulación en la temperatura de este. En época de verano absorben calor y en época de invierno lo liberan.

El proceso mediante el que esto ocurre, fue detallado con anterioridad en este documento, complementado con un ejemplo (ver ejemplo Beneficios Fiscales, Índice 2, Beneficios Térmicos).

4.2.5 BENEFICIOS EN LA RETENCIÓN DE AGUA

La retención que tiene una azotea verde depende directamente del sistema de naturación, de su textura, espesor y porosidad, almacenando el agua pluvial, pasando después a la atmosfera mediante el proceso de evapotranspiración, ayudando al ciclo hidrológico. Al ser comparado con una azotea convencional de concreto, se observa que es mucho más eficiente, ya que una azotea convencional no cuenta con un sistema retención de agua, presentando poca capacidad de infiltración. En la figura 4.3 se muestra la comparación de una azotea convencional de concreto con una azotea verde respecto a la precipitación. (Minke, 2004)



Fuente: Gernot, 2004

FIG. 4.3. COMPARACIÓN DE UNA AZOTEA CONVENCIONAL CONTRA UNA AZOTEA VERDE CON 10 CM DE ESPESOR DE SUSTRATO.

4.3 BENEFICIOS SOCIALES

Estos destacan por ser los más evidentes, ya que son los que ayudan directamente al entorno social general. Tienen repercusiones favorables en salud y estética, debido a que se crea un espacio útil armonioso y cálido, que propicia la interacción social y el desarrollo individual, pues actúa como un centro de interacción, y es apto para terapias de relajación grupales o individuales.

4.3.1 BENEFICIOS RESPECTO A LA SALUD

Estos son sin duda los beneficios más importantes. Las azoteas verdes tiene repercusión positiva sobre la disminución en el desarrollo o exacerbación de algunas enfermedades, por los beneficios anteriormente mencionados, entre los que se encuentran la mejoría en la calidad del aire, la regulación de temperatura, retención de agua, producción de oxígeno, por lograr un espacio que propicia la interacción social, así como por proporcionar un sitio útil y armonioso para la relajación, logrando consigo una mejor calidad de vida.

Claro ejemplo de ello son los particulares para estancias personales, para estancias para adultos mayores o los hospitales que cuentan con azoteas verdes, donde su uso más difundido es el de proporcionar un espacio acondicionado para la relajación de los enfermos, en el que pueden caminar con libertad, logrando una estancia más agradable, aire con mayor calidad y temperatura más confortables.

4.3.2. BENEFICIO EN LO ESTÉTICO

Por lo general, con las nuevas construcciones (de cualquier índole), se pierden áreas verdes. Al instalar azoteas verdes en las edificaciones se recupera una parte de éstas, e incluso se puede mejorar la calidad de la vegetación y a su vez permitirá utilizar dicho espacio como jardín o zona de confort, esparcimiento y descanso, y en determinados casos, hasta en una zona útil de cultivo o huerto familiar.

Al instalar este sistema, los beneficios se ven reflejados a simple vista; se puede mejorar la simplicidad de una azotea gris, vacía, al darle una nuevo uso reduciendo el espacio muerto de construcción y literalmente llenarla de vida, de color y de iluminación, y por ende ganar una vista hermosa en nuestro inmueble.

CAPÍTULO 5
COMPARATIVOS DE CIUDADES
QUE HAN IMPLEMENTADO
SISTEMAS DE AZOTEAS VERDES

5. COMPARATIVOS DE CIUDADES QUE HAN IMPLEMENTADO SISTEMAS DE AZOTEAS VERDES

Anteriormente se hizo mención de los precedentes del uso de los techos verdes en las antiguas civilizaciones, donde se implementaban primordialmente como aislantes térmicos o con fines meramente estéticos. En la actualidad la necesidad creciente de su uso y difusión en todo el mundo incluye además fines ecológicos debido al calentamiento global, sin dejar de lado algunos otros beneficios como son los económicos y recreativos.

El sobrecalentamiento observado principalmente en las grandes urbes provocado, entre otras cosas, por la gran cantidad de concreto en las edificaciones y el utilizado en el pavimento de las calles, aunado a las escasas o reducidas áreas verdes y árboles, condicionan su considerable aumento.

Se calcula que el aumento de dicha temperatura llega hasta los 4 grados centígrados en las grandes ciudades. Para reducir éste aumento, cada vez más ciudades adoptan este sistema y se involucran directamente en la lucha contra el calentamiento global, con acciones específicas como lo es el fomento de la naturación de las azoteas en muchas edificaciones, lo que se hace aún más atractivo al obtener a su vez incentivos fiscales y económicos.

A continuación se exponen las ciudades más representativas en este tema, las cuales constituyen un modelo a seguir para los sistemas urbanos que aún no adoptan estas innovaciones, pero que seguramente están próximos en hacerlo.

5.1 CIUDADES QUE HAN IMPLEMENTADO ESTE SISTEMA A NIVEL NACIONAL

Respecto a México, podemos decir que los avances son muy pocos, debido a la mínima difusión. El interés por la instalación de estas innovadoras infraestructuras en nuestro país tiene su inicio en el año 1999 en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), al crear un convenio con la Comisión de Recursos Naturales del Gobierno de la Ciudad de México, durante la gestión del Ing. Cuauhtémoc Cárdenas Jefe de Gobierno del Distrito Federal.

En tal convenio se estableció que la función es llevar a cabo la instalación de azoteas verdes y mitigar los altos índices de contaminación atmosférica de la Ciudad de México. Obteniendo recursos para dicho convenio del Banco Interamericano de Desarrollo, teniendo como iniciadores al Dr. Gilberto Nava de la Universidad de Chapingo, y Jerónimo Reyes investigador del Jardín Botánico de la Universidad Nacional Autónoma de México, siendo necesario ser capacitados en la Universidad de Humboldt en Berlín, Alemania. (Dr. Jáuregui, 2005)

Cabe mencionar que México es conocido como uno de los países que encabeza el movimiento de instalación de azoteas verdes en Latinoamérica, al adoptar el estándar medioambiental, conocido como NADF-013-RNAT, norma ambiental para el Distrito Federal, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal.

5.1.1 CIUDAD DE MÉXICO

La ciudad de México cuenta con alrededor de 35 mil metros cuadrados de azoteas verdes en edificios públicos, parques, museos y ciclovías cubiertas de vegetación.

En el 2007 se naturaron 2226.56 m² de azotea en colaboración con el Sistema de Transporte Colectivo Metro. (Los cuales se hallan distribuidos en el Cendi para trabajadores del Sistema de Transporte Metro con una superficie naturada de 1189.56 m² y la Glorieta del Metro Insurgentes del Sistema de Transporte Metro con una superficie naturada de 1037.00 m².), la fig. 5.2 a continuación muestra una imagen de la Glorieta del Metro Insurgentes y evidencia la magnitud de la azotea verde con la que cuenta.



Fuente: El Reforma

FIG. 5. 1. GLORIETA DEL METRO INSURGENTES DEL SISTEMA DE TRANSPORTE METRO, DISTRITO FEDERAL.

En el año 2008 se naturaron 6752.15 m² de azotea principalmente en edificaciones públicas pertenecientes al Gobierno del Distrito Federal. Los espacios en los cuales se implementó vegetación fueron:

- Hospital de Especialidades Dr. Belisario Domínguez con una superficie naturalada de 971.00 m².
- Escuela Preparatoria Iztacalco “Felipe Carrillo Puerto”, con una superficie naturalada de 1477.85 m².
- Escuela Preparatoria Coyoacán “Ricardo Flores Magón”, con una superficie naturalada de 2222.80 m².
- Centro de Educación Ambiental “Yautlica”, con una superficie naturalada de 1500.00 m².
- El Museo de Historia Natural con una superficie naturalada de 60.00 m².
- Secundaria técnica N° 14” Cinco de Mayo” con una superficie naturalada de 220.50 m². (SEDEMA).

A continuación se muestra una imagen del Hospital de Especialidades “Dr. Belisario Domínguez” en el Distrito Federal, que intenta representar una porción de la magnitud de la azotea verde en de ese edificio público. Entre otros usos, la azotea verde de éste edificio permite que los pacientes pueden tomar terapias en dicho espacio, además de servir como sitio de esparcimiento y relajación.



Fuente: Verónica Díaz F.

FIG. 5. 2. HOSPITAL DE ESPECIALIDADES DR. BELISARIO DOMÍNGUEZ, DISTRITO FEDERAL.

Durante el año 2009 se crearon 3183.50 m² de áreas verdes en azoteas y edificios, primordialmente gracias a los resolutivos de impacto ambiental que indican la naturación como una de las principales medidas de mitigación para los impactos ambientales negativos que provocan las diversas construcciones. Los inmuebles en los que se implementaron son:

- Plaza Central con una superficie naturalada de 3000.00 m².
- Superama Horacio con una superficie naturalada de 300.00 m².
- Escuela Preparatoria Álvaro Obregón "General Lázaro Cárdenas del Río" con una superficie naturalada de 183.50 m² (SEDEMA).

5.1.2 CIUDAD DE MORELIA, MICHOACÁN

La difusión sobre la instalación de azoteas verdes en ésta ciudad inicia en el año 2014, contando hasta ahora con una distribución de alrededor de 300 m² de azoteas verdes.

- El Polifórum Digital, cuenta alrededor con 200 m² de azotea verde, es un edificio perteneciente al gobierno y con carácter educativo, está ubicado en la av. Guadalupe Victoria #2225, col. Lomas de Santiaguito, en la fig. 5.3 se muestra el sistema de azotea verde con el cual cuenta el Polifórum (LA VOZ DE MICHOACÁN, 26 de enero de 2014).



Fuente: poliforumdigital.com

FIG. 5. 3. POLIFÓRUM DIGITAL, MORELIA, MICHOACÁN.

5.1.3 CIUDAD DE MONTERREY, NUEVO LEÓN.

La ciudad de Monterrey, cuenta con pocos edificios con azoteas naturalizadas. Algunos ejemplos son:

El museo del acero, localizado en el Parque Fundidora, emblema de la ciudad, cuenta con aproximadamente 2,000 m² de naturalización de azoteas. El Parque se encuentra abierto a todo el público. En él se desarrollan diversas actividades al aire libre, razón por la que se decidió que tuviera un carácter más verde, transformando las azoteas de diferentes locales en azoteas verdes; sobresale la azotea del museo del acero, la cual se muestra continuación



Fuente: Harari Landscape Architecture

FIG. 5. 4. MUSEO DEL ACERO, PARQUE LA FUNDIDORA, MONTERREY, N. L.

5.1.4 CIUDAD DE GUADALAJARA, JALISCO

Tiene alrededor de 12 000 metros de azoteas verdes.

- En el municipio de Zapopan se encuentra el fraccionamiento llamado el Acantilado, en el cual se ha instalado un sistema de azoteas verdes naturadas con una expansión de alrededor de 3 000 metros cuadrados. En la siguiente imagen se muestra dicho fraccionamiento; cabe mencionar que es el primero en su especie en todo el País. (Grupo Sierra de Guadalupe)



Fuente: Guido Marín

FIG. 5. 5. FRACCIONAMIENTO "EL ACANTILADO" EN ZAPOPAN, JALISCO.

- Dentro de la ciudad, distribuidas en los diferentes edificios gubernamentales, también podemos encontrar diversas zonas naturadas, que en conjunto suman alrededor de 8 700 metros cuadrados de azoteas verdes.

5.2 PAÍSES QUE HAN IMPLEMENTADO EL SISTEMA DE AZOTEAS VERDES A NIVEL INTERNACIONAL

La concientización sobre temas como el calentamiento global es ampliamente difundida en la actualidad, por lo que no es de asombrarse que muchos países se estén sumando a la lucha ecológica e inicien la adopción de sistemas favorables con el medio ambiente. Algunos de estos países tienen ya mucho tiempo involucrados en los temas de preservación ecológica, en cambio algunos otros se han unido recientemente; es significativa la lista de países involucrados en la promoción del uso de azoteas verdes, dicho movimiento avanza con evidente velocidad y fuerza.

Una de las mejores maneras de ayudar favorablemente en la disminución del calentamiento global y en general los cambios climáticos, es recuperar un porcentaje significativo de las áreas verdes que se pierden al momento de construir edificaciones nuevas. Esto se puede realizar de diversas formas, como lo es con la optimización del terreno, el aprovechamiento y preservación de la vegetación local en el diseño de la construcción, y la más importante, el aprovechamiento de los espacios muertos en las construcciones e instalando de azoteas verdes, con la ventaja de su uso en edificaciones nuevas así como en las preexistentes.

Cada día más ciudades construyen los llamadas edificios sustentables, los cuales incluyen entre sus características las azoteas verdes. A continuación se muestra la incorporación de azoteas verdes en diferentes inmuebles, algunos de carácter administrativo, habitacionales, educativos, gubernamentales, institucionales, etc., y se hace un listado de las azoteas más grandes y representativas del mundo, basándonos en publicaciones de renombre como la revista Engineering News-Record y asociaciones como I.G.R.A.

5.2.1 ALEMANIA.

Cabe destacar que Alemania dio origen a la naturación en la era moderna, implementando las azoteas verdes, la cual se difundió posteriormente a lo largo de toda Europa. Hasta el año 2000 se tiene un registro de 15 millones de m² de azoteas verdes en Alemania (Tanner-Scholz-Barth 2004).

- Aeropuerto internacional de Frankfurt. Inaugurado en 1972, cuenta con 17 000 m² de techos verdes y probablemente se trate de uno de los primeros en su género en el mundo. La idea básica era restaurar las áreas verdes disipadas por su construcción. Hoy en día cuenta con 80 000 m² de techos naturados en varios edificios. La imagen a continuación fue tomada en uno de los techos mostrando la ubicación del jardín. (Engineering News-Record, (E.N.R.)).



Fuente: Fraport AG

FIG. 5. 6. AEROPUERTO INTERNACIONAL DE FRANKFURT, ALEMANA.

- Logistilzentrum, Bondorf, la azotea verde se ubica en el edificio de la empresa BDL Bondorf Distributions-Logistik GmbH. Posee en su totalidad una superficie de 50 000 m² de azotea verde. Como dato curioso, esta azotea fue construida en tan solo en 4 meses. A continuación se muestra una imagen que deja ver la magnitud de la azotea verde con la que cuenta dicho edificio corporativo.



Fuente: Optigreen

FIG. 5. 7. EDIFICIO EMPRESARIAL DE BDL., LOGISTILZENTRUM, ALEMANIA.

5.2.2 ESPAÑA

Después de Alemania es el país más influyente, cuenta con más de 2 millones de metros cuadrados en azoteas verdes.

- Madrid. Es aquí donde se encuentra la azotea verde más grande del mundo, la cual está instalada en el Banco Santander con una extensión de más de 100 000 m², en una combinación de sistema intensivo y extensivo, y los diferentes tipos de sistemas fueron elegidos en conformidad con las comunidades vegetales que los rodea. En la siguiente figura se aprecia la dimensión de la extensión de dicha azotea verde



Fuente: Ecointeligencia.com

FIG. 5. 8. BANCO SANTANDER, MADRID, ESPAÑA.

- Parque Expo Zaragoza Empresarial. Está localizado en la ciudad de Zaragoza, España, fue construido para albergar una exposición internacional que seguía la temática del agua y desarrollo sustentable, este proyecto tiene una superficie alrededor de 43 200 m². En la figura 5.9 se muestra la azotea verde del Parque de Exposiciones de Zaragoza. (E.N.R.).



Fuente: Estudio de Paisajismo

FIG. 5. 9. PARQUE EXPO ZARAGOZA, ESPAÑA.

5.2.3 ESTADOS UNIDOS

Considerado el país más poderoso del mundo, no podía quedarse atrás en innovación y vanguardia sobre este tema; actualmente cuenta con una gran cantidad de construcciones con extensas azoteas verdes.

- El edificio más representativo en el tema es el Millennium Park, ubicado en la ciudad de Chicago, sobre una yarda del tren masivo y dos garajes de estacionamiento. Cuenta con la segunda azotea verde más grande del mundo, con una superficie alrededor de 99 000 m². La imagen a continuación ilustra la extensión del área verde de dicha construcción.



Fuente: James Steinkamp

FIG. 5. 10. MILLENNIUM PARK, CHICAGO, EE.UU.

- Dearborn Truck Asamblea, localizado en Michigan, EE.UU., edificio de la propiedad de Ford Motor Co., mismo que cuenta con 42 200 m² de azoteas verdes, en 1999 se embarcó en este proyecto, que consistía en transformar su complejo de fabricación "The River Rouge", dándole un tema verde. Este proyecto tuvo colaboradores a la Universidad del Estado de Michigan. En la figura 5.11 se muestra la azotea verde del River Rouge. (E.N.R.).



Fuente: Brad Temkin

FIG. 5. 11. DEARBORN TRUCK ASAMBLEA, DEARBORN MICHIGAN, EE.UU.

5.2.4 CANADÁ

La Aldea, era una zona industrial abandonada, hoy en día es una villa olímpica, un conjunto de varios edificios que cuenta con azoteas verdes, está localizada en False Creek, Vancouver, Canadá. Tiene una extensión aproximada de azoteas naturadas de 27 000 m². En la figura 5.12 se muestra la azotea verde con la que cuenta la aldea. (E.N.R.).



Fuente: John Sinal

FIG. 5. 12. LA ALDEA, VANCOUVER, CANADÁ.

5.2.5 SINGAPUR

Aquí encontramos un Campus académico que cuenta con una extensión de azotea naturada de 25 000 m². Este campus alberga a más de 12 000 estudiantes, cuenta con edificios de 8 a 11 pisos, y está ubicado en la Republica Politeísta, Singapur. A continuación se muestra una imagen de dicho campus. (E.N.R.).



Fuente: Elmich Pte. Ltd

FIG. 5. 13. CAMPUS REPUBLIC POLYTECHNIC, SINGAPUR.

5.2.6 INGLATERRA

En Londres, se encuentra el “Jubilee Park, Canary Wharf” con una superficie de 22 000 m², diseñada para crear un polo opuesto a las construcciones densas que predominan a su alrededor y le da un contraste a la panorámica con esta pequeña zona de área verde en medio de rascacielos. A continuación se muestra una imagen del Jubilee Park. (I.G.R.A).



Fuente: Wirtz NV

FIG. 5. 14. JUBILEE PARK, CANARY WHARF, LONDRES, INGLATERRA.

5.2.7 FRANCIA

En este país se cuenta con una ley de construcción la cual establece que es de carácter obligatorio instalar azoteas verdes o/y paneles solares en las nuevas edificaciones, de forma parcial o total. Francia cuenta con una enorme azotea verde de 8 000 m² aproximadamente, la cual está instalada en el museo L’Historial de la Vendée, en Les Lucs-Sur-Boulogne. En la siguiente imagen se muestra el techo verde del museo.



Fuente: Paysage - Lumière

FIG. 5. 15. MUSEO L’HISTORIAL DE LA VENDÉE, LES LUCS SUR BOULOGNE, FRANCIA.

CAPÍTULO 6
REQUERIMIENTOS PARA LA
INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA
VERDE

6. REQUERIMIENTOS PARA LA INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA VERDE

Una azotea verde o cubierta ajardinada se define como la parte de un edificio que esta parcial o totalmente cubierto de vegetación, que para su implantación requiere de sistemas integrales compuestos por varias capas de materiales, diseñados y organizados para promover el crecimiento de la vegetación elegida.

Existen dos tipos de azoteas verdes:

- La azotea directa: es un sistema compuesto por una membrana antiraíces que se extiende en la superficie de la azotea junto con un sistema drenado.
- La azotea indirecta: esta se instala con el uso de recipientes como charolas, llantas u otros materiales de reúso que permitan simular macetas donde pueda desarrollarse la vegetación, como se muestra en la siguiente imagen.



Fuente: Susana Cruz Martínez

FIG. 6. 1. AZOTEA INDIRECTA.

Para la instalación de una azotea verde se deben de tomar en cuenta varios criterios y requisitos, estos son los lineamientos y pautas basadas en necesidades humanas, así como en la experiencia e investigación sobre el tema en cuestión.

Tipos de naturación.

Anteriormente se consideraban dos tipos de naturación, pero el sistema de clasificación resultaba poco práctico pues eran muy radicales, pudiendo ser: con poca naturación y con demasiada naturación. Hoy en día se consideran tres tipos de naturación: naturación extensiva, naturación semi- extensiva y naturación intensiva.

- Naturación extensiva

Este tipo de naturación, se refiere a capas de crecimiento de vegetación arriba de un sistema de cubierta tradicional. Su mantenimiento es bajo, el espesor no debe ser mayor a los 8 cm, con una carga permanente entre los 110 y 140 kg/m² en estado saturado.

- Naturación semi-extensiva

Este tipo de naturación, se refiere a capas de crecimiento de vegetación arriba de un sistema de cubierta tradicional, con mantenimiento normal, con un mínimo de 15 cm de espesor, con una carga permanente en estado saturado entre 150 y 250 kg/m². En la figura 6.2 se muestra un sistema de naturación semi-extensiva.

- Naturación intensiva

Este tipo de naturación, se refiere a capas de crecimiento de vegetación arriba de un sistema de cubierta tradicional, necesita mantenimiento frecuente, espesor mínimo de 20 cm, peso en estado saturado mayor a los 250 kg/m². En la siguiente imagen se muestra una azotea de tipo naturación intensiva, en la cual se ve claramente la altura de la vegetación, por ende su espesor es más grueso.



Fuente: Evelyn Ramírez

FIG. 6. 2. NATURACIÓN INTENSIVA.

6.1. SUPERFICIE REQUERIDA

Los requisitos que debe cumplir una azotea verde tienen que estar basados en la normatividad vigente, es decir, la norma publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 24 de diciembre del 2008 no. 491.

Las edificaciones nuevas o existentes sobre las que se desee instalar una azotea verde deberán apegarse a los siguientes requisitos mínimos:

- Resistencia a la penetración por raíces. Tiene que garantizar que las raíces no penetren la capa impermeabilizante, así como a la losa, evitando daños a los componentes de la edificación.
- Impermeabilidad. Los sistemas de naturación deberán impedir el paso de agua a la estructura de la losa, y con esto evitar un estado de saturación sobre la misma.
- Resistencia y estabilidad. Debe garantizar firmeza, seguridad, comportamiento estático y estructural de todos los componentes de la azotea verde a instalar.
- Seguridad durante la maniobras. La colocación de los componentes de la azotea verde debe realizarse con el equipo necesario y es ineludible dejar los espacios requeridos para el mantenimiento, inspección y reparación de cualquier daño que se pudiera presentar.

Los requisitos previos para una nueva edificación son:

- La instalación y diseño se debe considerar desde la etapa de planeación de la edificación para que de esta manera se considere en la memoria de cálculo, debe ser cuantificada en estado saturado, con una pendiente mínima del 5%; además de pretiles mayores a los 20 cm, chaflanes a 45 grados y 8 cm de altura mínima en uniones con elementos verticales.
- Las instalaciones, estructura, bajadas de agua y drenaje se tendrán que diseñar conforme lo marca el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal y su Normas Técnicas Complementarias en vigor. Es primordial asegurar el desalojo total del agua producto de riego y/o precipitaciones pluviales sobre la cubierta, dicha cubierta tendrá que contar con rebosaderos, con una altura mínima de 5 cm sobre el nivel del sustrato.

Los requisitos previos para una edificación existentes son:

Se debe de tomar en cuenta los cálculos realizados en el diseño inicial de la estructura, de esta manera se decidirá qué tipo de naturación es la más conveniente a instalar. En la tabla 6.1 se muestra los valores para cada tipo de naturación y la tabla 6.2 los parámetros que debe cumplir.

TABLA 6. 1. CARGAS ADICIONALES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE NATURACIÓN.

| Tipo de naturación | Extensiva | Semi-intensiva | Intensiva |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Carga adicional | 110 -140 kg/m ² | 250 kg/m ² | >250 kg/m ² |

Fuente: NADF-013-RNAT-2007

TABLA 6. 2. VALOR PARA LOS PARÁMETROS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE NATURACIÓN.

| Tipo de naturación | Extensivo | Semi-intensivo | Intensivo |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| Altura de crecimiento de plantas | 5 -50 cm | 5 - 100 cm | 5 -400 cm |
| Diámetro de copa | No aplica | No aplica | 300 cm máximo |
| Substrato | 10 - 15 cm | 15 -30 cm | > 40 cm |
| Carga adicional | 110 - 140 kg/m ² | 250 kg/ m ² | > 250 kg/ m ² |
| Cobertura vegetal | Crasuláceas | Crasuláceas, pastos y arbustos | Crasuláceas, pastos, arbustos y árboles |

Fuente: NADF-013-RNAT-2007

6.2. MATERIALES DE LA SUPERFICIE.

Para la construcción correcta de una superficie en la que se desea la instalar una azotea verde, es necesario considerar que ésta deberá cumplir numerosos requisitos especiales, pero el más importante de éstos será la resistencia al peso de las capas de los componentes básicos de la naturación. A continuación se mencionan algunos tipos de superficies, dentro de las cuales encontramos las que cuentan con una gran cantidad de propiedades y muchas ventajas: concreto, piedra; y aquellas con muy pocas ventajas: lamina y tejas, madera.

6.2.1. SUPERFICIE DE CONCRETO.

Entre los tipos de materiales que existen para la elaboración de una losa, el concreto es el que proporciona mayores ventajas. Es un material compuesto por: agua, grava, arena y cemento; dependiendo de los porcentajes de los elementos que lo componen sus características cambian, es decir, podemos manipular las relaciones para obtener las propiedades finales específicas que se deseen.

Dependiendo de la relación que se tenga es la resistencia que tendrá la superficie, puede ir desde los 100 kg/cm² hasta los 300 kg/cm². En la tabla 6.3 se muestra la relación de los materiales que necesita un 1 m³ de concreto para las diferentes resistencias a la compresión, sin perder ninguna de sus propiedades iniciales.

TABLA 6. 3. RELACIÓN DE MATERIALES PARA ELABORAR 1 M3 DE CONCRETO CON DIFERENTES RESISTENCIAS.

| TAMAÑO MÁXIMO | 20 mm (3/4") | | | | | 40 mm (1 1/2") | | | | |
|--|--------------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|
| Resistencia a la compresión($f'c=Kg/cm^2$) | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| Cemento (kg) | 265 | 310 | 350 | 390 | 450 | 230 | 270 | 305 | 340 | 395 |
| Grava (kg) | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| Arena No. 4 (kg) | 900 | 860 | 825 | 790 | 740 | 960 | 930 | 900 | 870 | 830 |
| Agua (lts) | 205 | 205 | 205 | 205 | 205 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 |

Fuente: CEMEX.

Algunas de las propiedades de la superficie de concreto que le otorgan ventajas con respecto a otras superficies son:

- Resistencia a la compresión
- Rigidez y ductilidad
- Alta resistencia a la fatiga
- Impermeable
- Alta resistencia al fuego
- Alta resistencia a la abrasión
- Alta resistencia a la exposición a la intemperie
- Poco mantenimiento
- Se puede perfeccionar y obtener diferentes propiedades gracias al uso de adictivos

Nota: En la actualidad más de un 90% de los edificios contienen losas de concreto.

6.2.2. SUPERFICIE DE PIEDRA.

La piedra es un material de construcción noble por excelencia, en la actualidad son poca las construcciones donde se implementa únicamente éste material para la superficie de la losa; la piedra más utilizada son las de tipo caliza, por ejemplo: la cantera.

Entre las ventajas con las que cuenta son:

- Larga vida
- Poco mantenimiento
- Resistencia al calor y aislamiento térmico.
- Resistencia a la compresión
- Resistencia la intemperie

- Resistencia a la abrasión.

Una de sus ventajas más significativa está en el poco deterioro por humedad, sin embargo, entre sus desventajas se deben considerar que el tiempo de construcción es muy lento ante su uso y por último el costo de la obra aumentan.

6.2.3. SUPERFICIE DE MADERA, TEJA Y LÁMINAS.

Este tipo de superficies cuentan con muy pocas ventajas, prácticamente nulas, para ser consideradas en un sistema de azotea verde, además de que son superadas por las desventajas, ya que son mayores pues cuenta con poca resistencia a la compresión, tienen un alto grado de deterioro con la humedad, poca resistencia al fuego y la intemperie, etc.

6.3 TIPO DE VEGETACIÓN

Se pueden considerar o recomendar diferentes tipos de vegetación para cada de sistema de naturación en base a las necesidades particulares de cada uno de ellos, por ejemplo: los árboles y arbustos son para sistemas intensivos; las hierbas y musgos para un sistema extensivo y para los sistemas semi-extensivos; los sistemas semi-extensivos pueden usar vegetación de los otros dos sistemas, y además se pueden emplear flores para estos dos últimos sistemas.

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

- Espesor del sustrato y su efectividad de almacenaje de agua.
- Inclinação del techo
- Exposición al viento
- Orientación
- Resistencia a las sequias
- Resistencia a las heladas
- Altura de crecimiento 10-20 cm y sombra.
- No condicionada a la calidad del suelo
- Cuantía de precipitación.

Además como un criterio de elección adicional es necesario considerar a cuál de los factores benéficos asociados se le asignará más peso o la máxima importancia dentro de las funciones o repercusiones que la azotea verde proporcionará, y en base a ello se seleccionará la vegetación que se utilizará, pudiendo elegir entre ellos:

- Efecto de aislación térmica
- Efecto de enfriamiento en verano
- Aislación acústica
- Gasto de mantenimiento
- Aspecto óptico

Las variedades de plantas capaces de adaptarse a condiciones extremas de sequía y que se mantengan verdes durante todo el año son las recomendadas. En México se conocen cerca de 400 especies útiles para las azoteas verdes, aunque solo 10 especies se han seleccionado como potenciales para su uso (Gudiña, 2009)

6.3.1 VEGETACIÓN DE TIPO ORNATO

Las plantas de ornato o también conocidas como plantas de jardín, son aquellas que se cultivan desde semilla o camote. Se les llama de ornato porque son plantas para adorno en los hogares, oficinas, jardines, etc., normalmente se cultivan al aire libre, con protección ligera, como se muestra en la fig. 6.2. También toleran una gran variedad de condiciones de tierra y humedad. Pueden ser parte tanto de techos intensivos que tiene tierra adicional, y extensivos con niveles de tierra poco profundos. Algunos ejemplos de plantas de ornato son: lilis, orquídea, petunia, pata de elefante, cuna de moisés, hortensia, rayo de sol, etc.



Fuente: ZinCo

FIG. 6. 3. PLANTA DE ORNATO Y SISTEMA DE NATURACIÓN SEMI-EXTENSIVA.

6.3.2 VEGETACIÓN DE TIPO HORTALIZA

Son plantas que se consumen como alimento, ya sea sin cocción o preparadas culinariamente. Incluye las verduras y las legumbres verdes. Las hortalizas excluyen a las frutas y los cereales. Los diferentes tipos de hortalizas son:

- Hortalizas de hoja: acelga, cardo, diente de león, espinaca, lechuga, etc.
- Hortalizas de raíz: ajo, apio, cebolla, nabo, rábano, zanahorita, etc.
- Hortalizas de fruto: berenjena, calabacín, calabaza, fresa, maíz, melón, sandía, etc.
- Hortaliza de flor: tupinambo, chufa, papas, etc.

6.3.3 OTROS TIPOS DE VEGETACIÓN

Existen otros grupos de plantas que son utilizadas en azoteas verdes, pero que no se clasifican dentro de los dos grupos principales antes mencionados, por pertenecer a una clasificación particular.

- Árboles y arbusto.

Éstos requieren un sustrato adicional, a diferencia de las plantas más comunes. Algunos ejemplos son: árboles de hoja perenne muy cortos por la poda, arboles decorativos, rosales y azaleas.

- Hierbas y musgos.

Requieren mucho menos cuidados para su mantenimiento y a menudo resultan menos caros pues los niveles de tierra precisan solo alcanzar las 3 pulgadas. La desventaja es una selección de plantas más limitada. Y algunos ejemplos son: albahaca, hierba de limón, orégano, cebollino y menta.

- Césped y pastos

En techos con fuerte pendiente puede tener sentido emplear paneles de césped. Si están bien enraizados se pueden apilar sobre la misma superficie, uno encima del otro, sin que se resbalen. Debe tenerse en cuenta la poca resistencia a la sequía de la vegetación de pastos densamente crecidos que antes habían sido cortados. La tierra debe alcanzar cerca de 5 a 8 cm y estar bien enraizada. En la figura 6.4 se muestra una casa tradicional de Escandinavia, la instalación de estas azoteas para dicho caso, era con fines térmicos.



Fuente: Nikada

FIG. 6. 4. CASAS TRADICIONALES CON PANES DE CÉSPED.

- Flores.

Las plantas que requieren más tierra y un riego regular solo se deberían considerar para un techo intensivo, ya que los extensivos son ideales para albergar praderas y flores silvestres, que se adaptan mejor a las condiciones soleadas y a un riego irregular.

- Mantas de vegetación.

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

6.4 PARTICIPACIÓN SOCIAL

El descenso de la degradación ambiental global, es un desafío para el desarrollo sustentable de la humanidad, por lo que para frenarlo se requiere una amplia participación de todos.

En los últimos años, la frase “Desarrollo Sostenible” ha tomado gran relevancia, principalmente en el ámbito social, político y económico; esto se debe a que se requiere generar un cambio en los procesos de desarrollo, en los que los recursos disponibles sean empleados de la manera más eficiente posible, explotando su máximo potencial benéfico, buscando a la par minimizar la expresión de sus desventajas, en este caso en particular, las que provocan perjuicios carácter ecológico.

Los beneficios a los que se puede aspirar son bastantes, habiendo sido enlistados con anterioridad; cabe destacar que la incorporación de azoteas verdes también es muy fácil, pudiendo ser de forma directa o indirecta; es aquí donde la participación social toma su mayor importancia, ya que permitiría que se vayan sumando cada más áreas verdes.

Es necesario difundir los beneficios que se adquieren al implementar una azotea verde, al conocerlos permite que las familias se involucren a naturalizar sus azoteas, y así ser partícipes de esas ventajas de forma particular, pero al mismo tiempo dotar de beneficios al medio ambiente en general.

Ha sido tan importante la participación social en este tema que se han desarrollado asociaciones civiles a favor del desarrollo sustentable, y el tema de azoteas verdes es uno de los más implícitos debido a su facilidad de ejecución y adaptación.

Ejemplos de estas asociaciones son la Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas y la CICEANA, que dentro de sus programas educativos promueve la formación de una mente crítica y escéptica para hacer las preguntas adecuadas que logren llevar hacia la participación en el cuidado del medio ambiente.

6.5 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

Apartado importante es la eficiencia en el uso de agua para la azotea verde, dado se ve reflejada desde la selección de la vegetación, tomando diferentes factores a considerar, como: plantas que resistan sequias, características de la superficie y sustratos que retengan gran cantidad de agua, utilización de aspersores, el porcentaje de la pendiente, etc.

Un techo verde con 20 cm de sustrato de tierra y arcilla expandida puede almacenar 90 mm de agua, es decir, 90 litros por m² (Dürr, 1995).

El coeficiente de desagüe de aguas pluviales para superficies techadas enjardinadas con un mínimo de 10 cm de espesor es de 0.3. Esto significa, que solo el 30% de la lluvia caída desagua y el 70% queda retenida en el techo verde o se evapora. Para techos comunes con más de 3 grados de inclinación debe contarse con un desagüe pluvial del 100% (Universidad de Kassel, Alemania).

6.6 RECURSOS EN LOS MATERIALES DE UNA AZOTEA VERDE

El metro cuadrado de azotea verde cuesta alrededor de 1 500 (mil quinientos) hasta 2 000 (dos mil pesos) esto dependerá de los factores que intervienen en la instalación y de lo requerido para su conservación, dado que las plantas no serán sembradas en macetas, si no en el mismo piso de la azotea (Green Roof Systems de México).

Solo por mencionar algunas de las variables que modifican el costo, entre las que se encuentran:

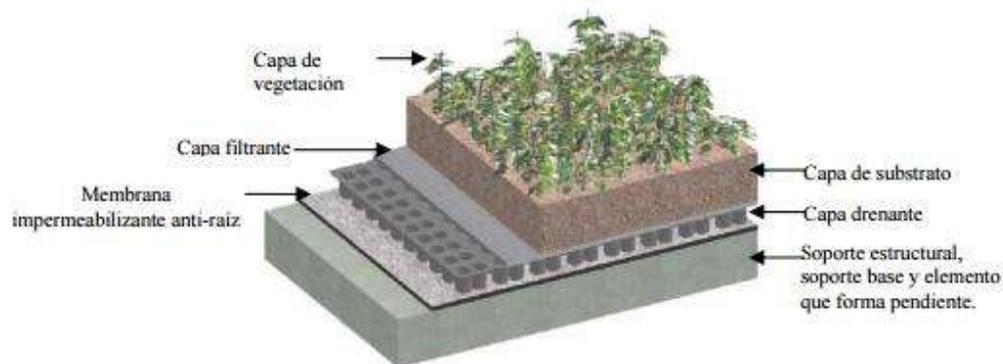
- Tipos de vegetación y acabados
- Condiciones que se encuentre la azotea
- Superficie de la azotea
- Cantidad y tipos de obstáculos: domos, tinacos, tanques, cableado, pendientes, etc.

6.7 PROCESO INTEGRATIVO

La azotea verde es un sistema integral conformado por varias capas de diferentes materiales, dispuestos estratégicamente para proteger el inmueble contra daños por la exposición al medio ambiente, que a su vez promueve el crecimiento de vegetación.

La instalación de cualquier tipo de naturación debe iniciar con la determinación de la factibilidad estructural y terminar con la instalación de la vegetación, contando con un diseño especial para cada edificación.

La superficie de una cubierta naturada se compone de los siguientes elementos básicos, como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: NADF-013-RNAT-2007

FIG. 6. 5. COMPONENTES BÁSICOS DE UNA CUBIERTA NATURADA.

6.7.1 SOPORTE ESTRUCTURAL

Está constituido por elementos estructurales, tales como vigas y el armado de la losa, en la fig. 6.6 se muestra el armado de acero con el cual cuenta el soporte, teniendo como función soportar su propio peso, así como a los elementos arquitectónicos, cargas vivas y muertas en la edificación, para la construcción del soporte base se pueden utilizar los siguientes materiales:

- Arcilla expandida
- Concreto armado
- Concreto celular
- Elementos prefabricados de concreto armado
- Mortero de partículas ligeras
- Mortero de cemento
- Placa aislantes térmicas
- Madera
- Láminas y cubiertas prefabricadas.



Fuente: Neyserlobra & Cia, LTDA

FIG. 6. 6. SOPORTE ESTRUCTURAL.

Una parte fundamental del soporte es la pendiente de la azotea, que debe contar con una pendiente mínima del 5% o máxima de 40%.

Respecto al procedimiento constructivo y las características de los materiales deberá seguirse lo previsto por el RCDF y su NTC, Normas Mexicanas, Normas Oficiales Mexicanas y demás normatividad aplicable.

6.7.2 SISTEMA DE DESALOJO DE AGUA

El desalojo del agua acumulada por precipitación pluvial es llevado a cabo por varios elementos, los cuales son: capa drenante, pendiente de la superficie, coladeras, rejillas y bajadas de agua. Estos elementos deben asegurar que no exista acumulación de agua sobre la superficie natural. Al instalar coladeras en la zona de naturalización, se deberá colocar rejillas sobre éstas, para evitar que elementos sólidos al ser desalojados bloqueen el flujo del agua y de esta manera no se genere almacenamiento de agua.

6.7.3 AISLAMIENTO TÉRMICO

La capa de aislante térmico tiene como función disminuir la temperatura del inmueble en época de verano y elevar la temperatura del mismo en época de invierno.

La instalación de esta capa se lleva a cabo mediante la colocación de materiales que posean la propiedad de aislamiento, situándolos por encima del soporte estructural. Los aislantes que generalmente se utilizan son: lana de vidrio o de roca, espuma de polietileno y polietileno expandido. En la figura 6.7 se muestran un ejemplo de estos aislantes.



Fuente: aislapanel

FIG. 6. 7. ESPUMA DE POLIETILENO.

6.7.4 MEMBRANA IMPERMEABLE ANTI RAÍZ

Las membranas impermeabilizantes anti raíz para sistemas de naturación deberán cumplir con las siguientes condiciones particulares.

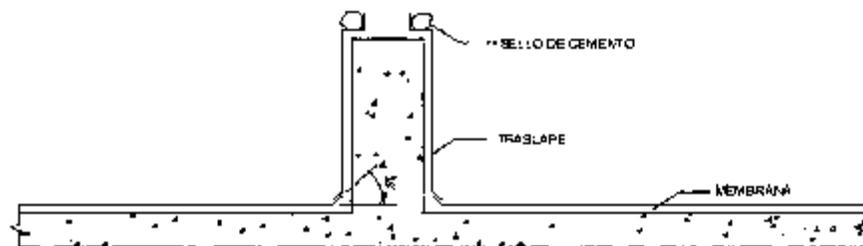
- Estabilidad dimensional
- Migración de plastificantes menor al 1% en volumen
- Resistencia a la perforación por raíces
- Resistencia a la tensión y tracción de los movimientos estructurales
- Resistencia a microorganismos
- Resistencia al choque térmico y variación de temperatura ambiental
- Resistencia al punzonamiento.

La propiedad anti raíces de la membrana impermeable deberá estar certificada por un organismo competente y reconocido, ya que las emulsiones o fieltros con supuestas propiedades anti raíces no son adecuadas para este tipo de sistemas.

En caso de utilizar un impermeabilizante anti-raíz bituminoso, éste deberá contar con un espesor mínimo de 4 mm y un refuerzo de poliéster de al menos 180 g/m². Además la membrana seleccionada deberá contar con un acabado superior que la proteja e incremente su resistencia mecánica para transitar sobre ella. NADF-013-RNAT-2007

Para realizar una adecuada instalación de la membrana anti-raíz impermeabilizante se debe garantizar la correcta colocación del sistema de desalojo de agua, dejando las juntas de dilatación adecuadas, de modo que se logre un apropiado desalojo de agua y evitar la anegación.

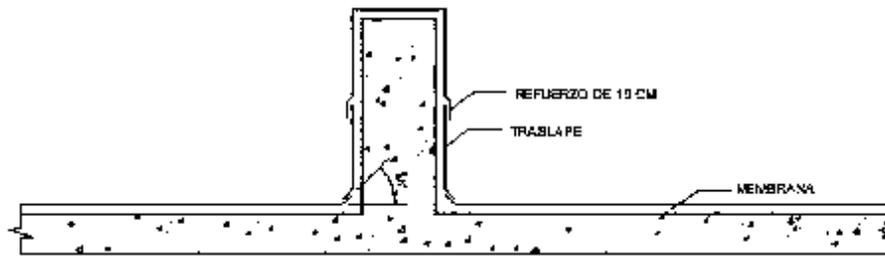
En los puntos donde se encuentren uniones tales como muretes se deberán de contar con un chaflán por ambos lados a 45° y 8 cm de altura, como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Irais Guadalupe Sánchez

FIG. 6. 8. UNIONES CON MURETES.

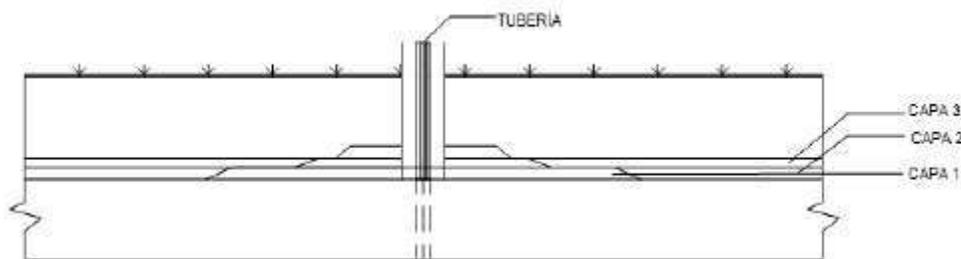
La membrana deberá ser colocada con un mínimo de altura de 10 cm por encima de la capa de sustrato y con un traslape de 10 cm sobre el chaflán, y dando un remate sobre la capa como se muestra en la siguiente figura.



Fuente: Irais Guadalupe Sánchez

FIG. 6. 9. REFUERZO DE LA MEMBRANA ANTI-RAÍZ IMPERMEABILIZANTE.

La colocación de la membrana anti-raíz impermeabilizante en puntos de encuentro con tubos debe realizarse de la siguiente manera, como se muestra en la siguiente imagen:



Fuente: Irais Guadalupe Sánchez

FIG. 6. 10. REPRESENTACIÓN DE LAS CAPAS DE LA MEMBRANA Y TUBERÍA.

Capa 1. La membrana se cortará en forma de estrella cuidando en todo momento que no se desprenda totalmente, ya que ésta quedará sobre la losa y las pestañas se pegarán al tubo a modo de que éste quede forrado.

Capa 2. Se cortará un rectángulo de la membrana de las dimensiones de la estrella, la cual se le hará el corte necesario para que pase el tubo y se une a la losa.

Capa 3. Esta capa es la que viste toda la cubierta, colocándose de modo que forre toda la tubería y cubra las capas 1 y 2, en la figura 4.7 se muestran dichas capas

6.7.5 CAPA DRENANTE

Esta capa se coloca entre la membrana impermeabilizante anti raíz y la capa filtrante, su función es recibir las precipitaciones excedentes en toda la superficie y conducir las hacia los desagües de la cubierta y actuara también como protección mecánica de la cubierta.

La capa seleccionada debe desalojar al menos una pluviometría de 2 l/min por m² de intensidad (300 l/s x ha), para ello se consideran el tipo de sistema de naturación, la superficie total que cubren los desagües, la pendiente de la cubierta y la pluviometría de la zona. NADF-013-RNAT-2007. En la figura 6.11 se muestra una lámina drenante de cubierta ecológica.



Fuente: Sánchez-Pando

FIG. 6. 11. LAMINA DRENANTE PLATON DE-25.

Para la conformación de la capa drenante se deberá emplear alguno de los siguientes elementos:

- Láminas de fibras sintéticas o de polipropileno
- Mallas plásticas con lamina filtrante
- Placas drenantes de fibras textiles recicladas
- Placas drenantes de polietileno

Para la capa drenante se utilizaran materiales con las características siguientes:

- Con estructura duradera y estable.
- Estabilidad de forma y función
- Lo más ligeros posibles
- Inocuo para la vegetación.
- Química y físicamente estables.

Un factor importante a considerar es la pendiente del techo, al contar con una pendiente menor al 5% será necesario colocar un drenaje especial para lograr el correcto desalojo del agua, y en el caso contrario de una pendiente mayor al 40% se deberá tener cuidado con el sustrato para evitar su deslizamiento.

6.7.6 CAPA FILTRANTE

Esta capa está situada entre el dren y el sustrato con la finalidad de evitar el paso de las partículas finas de éste, las cuales podrían tapar la capa drenante. Debe colocarse con un traslape mínimo de 15 cm sobre la superficie total de la capa drenante.

Para efecto de conformación la capa filtrante deberá sobresalir mínimo 10 cm por encima de la superficie del sustrato o banda lateral en el borde de la cubierta y en su encuentro con elementos emergentes. Una vez concluidos los trabajos de plantación, deberá recortarse la capa filtrante al nivel del sustrato. En la figura 6.12 se muestra una lámina geotextil que sirve como capa filtrante.



Fuente: Tencate

FIG. 6. 12. LAMINA GEOTEXTIL POLYF EELT® F.

Las características de la capa filtrante son:

- Compatible con los materiales con que este en contacto
- Con permeabilidad al agua 10 veces superior a la del sustrato
- De estructura duradera y estable
- Imputrescible
- Permisible al crecimiento de raíces
- Resistente a la tensión y compresión
- Resistente a la intemperie
- Resistente a microorganismos
- Resistente a pH elevados.

La capa filtrante deberá ser siempre permeable en ambos sentidos, permitiendo el paso de agua al menos en 2 l/min m² y tener un peso mínimo de 200 g/ m². En los desagües se debe utilizar una capa de menor peso, pero no inferior a los 120 g/ m². NADF-013-RNAT-2007

6.7.7 CAPA DE SUBSTRATO

Esta capa está situada entre la capa filtrante y la capa de vegetación y su función es servir de soporte físico a la capa de vegetación, suministrándole los nutrientes, el agua y oxígeno necesarios; será el sitio donde se desarrollarán las raíces de las plantas.

El espesor de esta capa está directamente relacionado con las necesidades del volumen radicular de las especies vegetales seleccionadas y las condiciones microclimáticas de la zona; como mínimo deberá ser de 10 cm. En la figura 6.13 se muestra la colocación de la capa de sustrato en una azotea y también se puede observar las dimensiones del espesor.



Fuente: Azoteasy muros

FIG. 6. 13. CAPA DE SUSTRATO.

Existen dos tipos de sistemas de sustrato, sistema monocapa: formado por una capa de sustrato capaz de realizar las funciones de drenado, y; sistema bicapa: formado por una capa de sustrato y una capa drenantes.

En los sistemas extensivos la mezcla de sustrato deberá estar conformada por lo menos en un 70% por material poroso con un diámetro preponderante de 3.2 mm; en los sistemas intensivos el material poroso deberá constituir mínimamente el 50% de la mezcla y en los semi-intensivos constituirá entre el 60% y el 90%. NADF-013-RNAT-2007

La capa de sustrato deberá ser lo más ligera posible siempre que garantice la satisfacción de las necesidades de la vegetación. La descomposición biológica y compactación de la capa de sustrato deberán ser mínimas por lo que deberá estar constituida en su mayoría de componentes inorgánicos. Los componentes minerales de la capa de sustrato no deberán dispersarse y deberán conservar su estructura.

6.7.8 CAPA DE VEGETACIÓN

Las capas de vegetación y sus características variaran dependiendo de la elección de cualquiera de los 3 tipos de sistemas de naturación que se vaya a implementar.

- Para un sistema de naturación extensiva se deberá plantar vegetación que requiera poco mantenimiento, se pueda adaptar rápidamente a las condiciones del lugar y permita obtener una cobertura de vegetación rápida y duradera. Las condiciones generales que deberá soporta la vegetación en este sistema son:
 - Alta radiación solar
 - Escaso volumen de suelo
 - Largos periodos de sequia
 - Temperaturas extremas
 - Condiciones de nulo mantenimiento.

La vegetación utilizada en la naturación extensiva deberá tener sistemas radicales de poca profundidad, con buena capacidad de regeneración y con una altura de crecimiento menor a 50 cm.



Fuente: howtospentit.ft.com

FIG. 6. 14. NATURACIÓN DE TIPO INTENSIVA Y CAPA DE VEGETACIÓN.

- Para las capas de naturación semi intensivas, la vegetación apta incluye una gran variedad de especies y características intermedias, entre las naturaciones extensivas y las intensivas. En este tipo de sistema de naturación se puede instalar crasuláceas, pastos y arbustos.
- Para un sistema de naturación intensiva podemos utilizar cualquier tipo de vegetación (incluyendo las de naturación extensivas, siempre y cuando no sea nociva para la salud humana o de reproducción restringida. Sin embargo se obtendrán mejores resultados en la naturación si la vegetación seleccionada cumple con las características siguientes:
 - Desarrollo rápido
 - Resistentes a la acción del viento
 - Resistentes a la temperaturas extremas de la zona
 - Resistentes a los niveles de contaminación de la zona urbana
 - Resistentes a las radiaciones solares elevadas
 - Adaptada al clima y microclima de la zona.

Una condicionante más es que, la altura de crecimiento de la vegetación no podrá exceder los 400 cm, si la vegetación seleccionada tiende a exceder esta altura, se deberá controlar su crecimiento con podas periódicas.

6.7.9 ACCESO A LA AZOTEA

Durante la etapa de planeación de la azotea verde se debe de tomar en cuenta el acceso, éste es de suma importancia ya que permitirá realizar el mantenimiento de la misma, así como garantizar las visitas periódicas a ésta y así disfrutar la estadía en ella. Es apremiante un acceso fácil y cómodo, preferentemente amplio, cuya ubicación preseleccionada sea compatible con las características del entorno y diseño de la azotea verde.

Una vez que se han definido los componentes básicos de una azotea verde, también es necesario saber de qué manera impactan las edificaciones al medio ambiente por lo cual en el siguiente capítulo se trata dicho tema.

CAPÍTULO 7
CONSIDERACIONES
ESTRUCTURALES Y
CONSTRUCTIVAS

7. CONSIDERACIONES ESTRUCTURALES Y CONSTRUCTIVAS

El conocimiento de las consideraciones que involucran la construcción de una azotea verde, nos lleva a un buen diseño inicial, o bien, a la elección correcta del tipo de naturación que una edificación pueda resistir y se puede implementar sin ningún problema.

Como se sabe, las consideraciones estructurales se refieren más que nada a la carga; en las tablas 3.1 y 3.2, en la primera tabla se hace mención a la carga adicional de cada tipo de naturación, sea nueva o existente; en la segunda tabla, se hace mención a los parámetros de los tipos de naturación. Por otro lado, las consideraciones constructivas nos dan un paso a paso de los componentes básicos de la azotea verde, en la fig. 6.1 del capítulo anterior se muestra los componentes que integran el sistema de naturación y el orden en el que van instaladas.

Además, también es necesario conocer los tipos de legislación que regulan la construcción de azoteas verdes, con la finalidad de que la naturación a implementar vaya de acuerdo a lo establecidos en normas, leyes, convenios, etc. Cabe mencionar que a nivel nacional, se cuentan con varios documentos oficiales que hacen mención a las azoteas verdes, para el sitio del caso en particular de este documento la norma (NADF-013-RNAT-2007) que legisla, es la establecida en el distrito federal.

Ixtapa-Zihuatanejo, es un contraste entre dos localidades: Ixtapa; que es un complejo turístico de clase mundial que alberga a más de 2 millones de turistas al año, la construcciones en su mayoría son hoteles y/o condominios, por otro lado: Zihuatanejo, es una localidad que no se despoja de sus costumbres, en su mayoría vive de la pesca, la mayoría de sus construcciones son casas habitacionales.

Por otro lado se conoce el clima medio de la localidad de Ixtapa-Zihuatanejo, que es de 26 °C, pero en la estación de verano la ciudad alcanza altísimas temperaturas, es por esto que se opta por un diseño bioclimático para que las casa no alcancen altas temperaturas, la instalación de una azotea verde en una construcción es un elemento en este diseño, cabe recalcar que la disminución del consumo de energía eléctrica disminuiría significativamente ya que el uso de artefactos como ventiladores y aires acondicionados disminuirían.

7.1 ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

El diseño es un proceso creativo mediante el cual se definen las características de un sistema estructural de manera que cumpla en forma óptima con sus objetivos. El objetivo de un sistema estructural es resistir las fuerzas a las que va estar sometido, sin colapso o mal comportamiento. El proceso de diseño estructural contiene las siguientes partes fundamentales:

- Estructuración: en esta parte del proceso se determinan los materiales de los que va a estar constituida la estructura en forma global de ésta, el arreglo de sus elementos constitutivos y sus dimensiones y características más esenciales.
- Análisis: se incluye bajo esta denominación las actividades que llevan a la determinación de la respuesta de la estructura ante las diferentes acciones exteriores que puedan afectarla.
- Dimensionamiento: es esta etapa se define en detalle la estructura y se revisa si cumple con los requisitos de seguridad especificados. Además se elaboran planos y especificaciones de construcción de la estructura.

El análisis de la secuencia con la que se realiza el diseño de una estructura permite tener también las fases siguientes:

- Planteamiento de soluciones preliminares
- Evaluación de soluciones preliminares
- Diseño detallado
- Transferencia de los resultados del diseño
- Supervisión

El diseño estructural tiene como objetivo proporcionar soluciones por medio del aprovechamiento óptimo de los materiales, de las técnicas constructivas disponibles y cumpliendo restricciones impuestas por los otros aspectos del proyecto, para que nos den lugar a un buen comportamiento de la estructura en condiciones normales de funcionamiento de la construcción y de la seguridad adecuada contra la ocurrencia de algún tipo de falla.

Existen 3 tipos diferentes tipos de losas: losas en una dirección, perimetrales y planas. Para cada una el diseño estructural es diferente, a continuación describiremos el diseño, con base en la NTC-RCDF-2004, para losas perimetrales ya que actualmente son mayoría.

7.1.1 LOSAS PERIMETRALES.

- Análisis de carga.

Para el diseño de una losa es necesario el análisis de cargas que serán soportadas por la losa en estudio. Por lo cual, se tomarán en cuenta las cargas muertas (C_m), cargas vivas y vivas máximas con una pendiente mayor del 5% (C_v). Estando aquí incluidas dentro de las cargas muertas el peso del tipo de naturaleza a implementar (tabla 6.1).

$$W_u = (C_m + C_v) * F_m \quad \text{(Ecuación 7.1)}$$

- Peralte mínimo

Para el diseño del peralte en una losa perimetral, tenemos dos casos:

- Cuando $f_s < 2520 \text{ kg/cm}^2$ Donde: $f_s = 0.6 f_y$

En este caso, cuando el concreto es de clase 1 y la losa no fue colada monolíticamente con sus apoyos, el perímetro se dividirá entre 250, además de incrementar un 50% a los lados discontinuos del perímetro y 25% cuando sea colada monolíticamente y para concreto clase 2 el perímetro se dividirá entre 170.

- Clase 1 y no monolítica.

$$d = \frac{\text{perímetro de la losa}}{250} * 1.50 \quad \text{(Ecuación 7.2)}$$

- Clase 2 y monolítica.

$$d = \frac{\text{perímetro de la losa}}{170} * 1.25 \quad \text{(Ecuación 7.3)}$$

- Cuando $f_s > 2520 \text{ kg/cm}^2$

Las ecuaciones (1) y (2) deberán multiplicar por un factor que se obtiene de la ecuación (3)

$$0.032 \sqrt[4]{f_s * w_u} \quad \text{(Ecuación 7.4)}$$

Por lo tanto las ecuaciones 1 y 2 quedan:

$$d = \frac{\text{perimetro de la losa}}{250} * 1.50 * 0.032 \sqrt[4]{f_s * w_u} \quad (\text{Ecuación 7.2.a})$$

$$d = \frac{\text{perimetro de la losa}}{170} * 1.25 * 0.032 \sqrt[4]{f_s * w_u} \quad (\text{Ecuación 7.3.a})$$

- Cortante de la losa.

Para el cálculo de la fuerza cortante se consideran los esfuerzos internos, ya que el cortante debe de resistir las fuerzas resultantes de las tensiones paralelas de una sección transversal de la viga. Para cada losa el cortante último (V_u) y el cortante resistente (V_{cr}) se calcula de diferente forma.

Una vez que se obtienen ambos cortantes, se hace una comparación en la cual el cortante resistente siempre debe ser mayor al cortante último, si no se cumple, se debe hacer un nuevo diseño, en cual se cambiaran los materiales con la finalidad que aquellos que se implementarán den un resultado coherente, que no sea ni sobrado ni faltante en resistencia.

Para obtener el V_u , se utiliza la siguiente ecuación.

$$V_u = \left(\frac{a_1}{2} - d \right) \left(.95 - .5 \frac{a_1}{a_2} \right) * W * 1.15 \quad (\text{Ecuación 7.5})$$

Y bien para obtener el V_{cr} , se utiliza la siguiente ecuación.

$$V_{cr} = 0.5 * F_r * b * d * \sqrt{f_c^*} \quad (\text{Ecuación 7.6})$$

- Acero de refuerzo.

Los elementos estructurales de concreto no deben de fallar debido a la fuerza de tensión, por lo cual se les coloca acero de refuerzo, para que de esta forma soporten la fuerza tensionante que actúa sobre ellos.

Al realizarse un diseño de losa perimetral, es necesario consultar la tabla de coeficientes de momentos negativos y los positivos, para tableros rectangulares. Ya que es necesario obtener el coeficiente k , que surge de la relación de a_1 y a_2 para la ecuación siguiente:

$$M = k * W_u * a_1^2 * 10^{-4} \quad (\text{Ecuación 7.7})$$

TABLA 7. 1. COEFICIENTES DE MOMENTOS FLEXIONANTES PARA TABLEROS RECTANGULARES.

| Tablero | Momento | Claro | Relación de lados corto a largo, $m = a_1/a_2$ | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|----------|--|-----------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | | | 0 | | 0.5 | | 0.6 | | 0.7 | | 0.8 | | 0.9 | | 1.0 | |
| | | | I ² | II ³ | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| Interior Todos los bordes continuos | Neg. en bordes interiores | corto | 998 | 1018 | 553 | 565 | 489 | 498 | 432 | 438 | 381 | 387 | 333 | 338 | 288 | 292 |
| | | largo | 516 | 544 | 409 | 431 | 391 | 412 | 371 | 388 | 347 | 361 | 320 | 330 | 288 | 292 |
| | Positivo | corto | 630 | 668 | 312 | 322 | 268 | 276 | 228 | 236 | 192 | 199 | 158 | 164 | 126 | 130 |
| | | largo | 175 | 181 | 139 | 144 | 134 | 139 | 130 | 135 | 128 | 133 | 127 | 131 | 126 | 130 |
| De borde Un lado corto discontinuo | Neg. en bordes interiores | corto | 998 | 1018 | 568 | 594 | 506 | 533 | 451 | 478 | 403 | 431 | 357 | 388 | 315 | 346 |
| | | largo | 516 | 544 | 409 | 431 | 391 | 412 | 372 | 392 | 350 | 369 | 326 | 341 | 297 | 311 |
| | Neg. en bordes dis. | largo | 326 | 0 | 258 | 0 | 248 | 0 | 236 | 0 | 222 | 0 | 206 | 0 | 190 | 0 |
| | | Positivo | corto | 630 | 668 | 329 | 356 | 292 | 306 | 240 | 261 | 202 | 219 | 167 | 181 | 133 |
| De borde Un lado largo discontinuo | Neg. en bordes interiores | corto | 1060 | 1143 | 583 | 624 | 514 | 548 | 453 | 481 | 397 | 420 | 346 | 364 | 297 | 311 |
| | | largo | 587 | 687 | 465 | 545 | 442 | 513 | 411 | 470 | 379 | 426 | 347 | 384 | 315 | 346 |
| | Neg. en bordes dis. | corto | 651 | 0 | 362 | 0 | 321 | 0 | 283 | 0 | 250 | 0 | 219 | 0 | 190 | 0 |
| | | Positivo | corto | 751 | 912 | 334 | 366 | 285 | 312 | 241 | 263 | 202 | 218 | 164 | 175 | 129 |
| De esquina Dos lados adyacentes discontinuos | Neg. en bordes interiores | corto | 1060 | 1143 | 598 | 653 | 530 | 582 | 471 | 520 | 419 | 464 | 371 | 412 | 324 | 364 |
| | | largo | 600 | 713 | 475 | 564 | 455 | 541 | 429 | 506 | 394 | 457 | 360 | 410 | 324 | 364 |
| | Neg. en borde discontinuos | corto | 651 | 0 | 362 | 0 | 321 | 0 | 277 | 0 | 250 | 0 | 219 | 0 | 190 | 0 |
| | | largo | 326 | 0 | 258 | 0 | 248 | 0 | 236 | 0 | 222 | 0 | 206 | 0 | 190 | 0 |
| Positivo | corto | 751 | 912 | 358 | 416 | 306 | 354 | 259 | 298 | 216 | 247 | 176 | 199 | 137 | 153 | |
| | largo | 191 | 212 | 152 | 168 | 146 | 163 | 142 | 158 | 140 | 156 | 138 | 154 | 137 | 153 | |
| Extremo Tres bordes discontinuos un lado largo continuo | Neg. en borde cont. | corto | 1060 | 1143 | 970 | 1070 | 890 | 1010 | 810 | 940 | 730 | 870 | 650 | 790 | 570 | 710 |
| | | largo | 651 | 0 | 370 | 0 | 340 | 0 | 310 | 0 | 280 | 0 | 250 | 0 | 220 | 0 |
| | Neg. en bordes disc. | corto | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 |
| | | largo | 751 | 912 | 730 | 800 | 670 | 760 | 610 | 710 | 550 | 650 | 490 | 600 | 430 | 540 |
| Positivo | corto | 185 | 200 | 430 | 520 | 430 | 520 | 430 | 520 | 430 | 520 | 430 | 520 | 430 | 520 | |
| | largo | 570 | 710 | 570 | 710 | 570 | 710 | 570 | 710 | 570 | 710 | 570 | 710 | 570 | 710 | |
| Extremo Tres bordes discontinuos un lado corto continuo | Neg. en borde cont. | corto | 570 | 0 | 480 | 0 | 420 | 0 | 370 | 0 | 310 | 0 | 270 | 0 | 220 | 0 |
| | | largo | 330 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 | 220 | 0 |
| | Neg. en borde disc. | corto | 1100 | 1670 | 960 | 1060 | 840 | 950 | 730 | 850 | 620 | 740 | 540 | 660 | 430 | 520 |
| | | largo | 200 | 250 | 430 | 540 | 430 | 540 | 430 | 540 | 430 | 540 | 430 | 540 | 430 | 540 |
| Aislado Cuatro lados discontinuos | Neg. en bordes discontinuos | corto | 570 | 0 | 550 | 0 | 530 | 0 | 470 | 0 | 430 | 0 | 380 | 0 | 330 | 0 |
| | | largo | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 |
| | Positivo | corto | 1100 | 1670 | 830 | 1380 | 800 | 1330 | 720 | 1190 | 640 | 1070 | 570 | 950 | 500 | 830 |
| | | largo | 200 | 250 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 |

¹ Para las franjas extremas multiplíquense los coeficientes por 0.60.

² Caso I. Losa colada monolíticamente con sus apoyos.

³ Caso II. Losa no colada monolíticamente con sus apoyos.

Los coeficientes multiplicados por $10^{-4} w a_1^2$, dan momentos flexionantes por unidad de ancho; si w está en kN/m² (en kg/m²) y a₁ en m, el momento da en kN-m/m (en kg-m/m)

Para el caso I, a₁ y a₂ pueden tomarse como los claros libres entre paños de vigas; para el caso II se tomarán como los claros entre ejes, pero sin exceder del claro libre más dos veces el espesor de la losa.

Fuente: NTC-RCDF-2004

Una vez que se tienen los valores de los momentos, se prosigue con el cálculo del acero necesario, el cual se compara con el acero mínimo ($q_{\min} = 0.003$ en base a la NTC-RCDF-2004) que debe llevar la losa y se elige el mayor.

$$Q = \frac{M}{Fr * b * d^2 * f''c} \quad (\text{Ecuación 7.8})$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2Q} \quad (\text{Ecuación 7.9})$$

$$p = q \frac{f''c}{fy} \quad (\text{Ecuación 7.10})$$

La fórmula para saber el acero es la siguiente, anteriormente se compararon, el q y el q_{\min} , tomándose el mayor.

$$As = p * d * b \quad (\text{Ecuación 7.11})$$

Para saber a qué separación debe ir cada varilla se utiliza la siguiente formula.

$$S = \frac{b * \phi \text{ de la varilla}}{As} \quad (\text{Ecuación 7.12})$$

Así como se debe cumplir con un peralte mínimo y una cantidad mínima de acero, también se debe cumplir con una separación máxima, la cual es 2.5 por el peralte efectivo.

7.1.2 REVISIÓN DE LOSA YA CONSTRUIDA.

Las personas que están involucradas dentro del área de la construcción, empíricamente, están confiados en que, si en una construcción hay espacios no mayores a 18 m² de losa y las distancias entre apoyos, ya sean muros y columnas no sean mayores a 4 m de longitud (muros que ayuden a la resistencia del peso de la losa), la construcción es resistente a la carga adicional que proporciona la instalación de naturaleza en azotea sin ningún inconveniente.

Sin embargo, si las distancias entre columnas y muros de cargas son mayores a la distancia anteriormente mencionada se debe revisar lo siguiente, para saber es o no apta, que la capacidad de carga no sea superada y la estructura sufra daños considerables. Esto se logra calculando los estados límites de servicio y los estados límites de falla.

- Estado límite de servicio. Se considera a este a la ocurrencia de deformaciones, vibraciones, agrietamientos y daños que afectan el correcto funcionamiento de la construcción, pero que no perjudica su capacidad de soportar carga. En este estado se la edificación debe cumplir con dos condicionantes:

1. Deflexión vertical máxima permisible.

$$\Delta_{total} = \Delta_{inmediata} + \Delta_{diferida} \quad (\text{Ecuación 7.13})$$

Donde:

$\Delta_{inmediata}$ = deflexión que se presenta una vez descimbrada la losa.

$\Delta_{diferida}$ = deflexión medida a los tres años.

Nota: la deflexión total inicial se calcula con la ecuación que se muestra para el cálculo del estado límite de falla.

Y se deberá cumplir que:

$$\Delta_{total} \leq \Delta_{permisible}$$

Donde la deflexión permisible se calcula de la siguiente manera.

- Cuando no tiene carga

$$\Delta_{permisible} = \frac{l}{240} + 0.5\text{cm} \quad (\text{Ecuación 7.14})$$

- Cuando sobre el elemento halla miembros susceptibles de dañarse.

$$\Delta_{permisible} = \frac{l}{480} + 0.5cm \quad (\text{Ecuación 7.15})$$

2. Deflexión lateral máxima permisible.

- Cuando sobre la losa no se tiene carga

$$\delta \leq \frac{hi}{250} + 0.5cm \quad (\text{Ecuación 7.16})$$

- Cuando sobre el elemento se encuentren miembros susceptibles de dañarse.

$$\delta \leq \frac{hi}{500} + 0.5cm \quad (\text{Ecuación 7.17})$$

En la siguiente imagen describe de donde provienen los valores de la deflexión lateral.

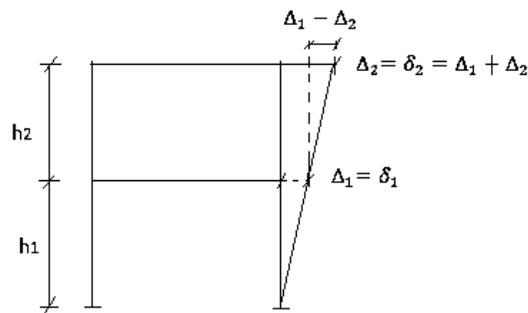


FIG. 7. 1. VALORES DE LA DEFLEXIÓN LATERAL.

- Estado límite de falla. Se considera a este como cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente la resistencia ante nuevas aplicaciones de carga. La deflexión del estado límite de falla se calcula con la siguiente ecuación, la cual no deberá ser mayor a la deflexión permisible.

$$\Delta = \frac{5wl^4}{384EI} \quad (\text{Ecuación: 7.18})$$

El peso de la losa se calcula por m^2 , y ecuación es la siguiente, esta indica que se multiplica un metro por un metro de losa, por su peso volumétrico y por su peralte.

$$w = 1m * 1m * \sigma * p \quad (\text{Ecuación: 7.19})$$

7.2 CONSIDERACIÓN DE DRENAJE Y PENDIENTE

El desalojo del agua acumulada por precipitación pluvial o por el mismo riego se debe realizar mediante varios elementos, los cuales tienen la finalidad de asegurar que no existe una acumulación de agua sobre la superficie natural. También sabes que existe una captación de sustancias pesadas en la vegetación que originalmente se encuentra suspendida esto al haber escurrimiento pudieran ocasionar algún tipo de problemas, como por ejemplo, que se tape alguna coladera o partes de la capa drenante.

De lo anterior concluimos que es debemos tomar en cuenta las consideraciones en drenaje y en pendiente, para que nuestra azotea cumpla satisfactoriamente con la necesidades que se requieren.

7.2.1 CAPA DRENANTE.

Esta capa tiene la función de recibir las precipitaciones excedentes en toda la superficie y conducirlas hacia los desagües de la cubierta y como protección mecánica de la cubierta.

La capa seleccionada debe desalojar al menos una pluviometría de 2 l/min x m^2 de intensidad (300 l/s x ha), para ello se consideran el tipo de sistema de naturación, la superficie total que cubren los desagües, la pendiente de la cubierta y la pluviometría de la zona. (NADF-013-RNAT-2007)

Para la conformación de la capa drenante se deberá emplear alguno de los siguientes elementos:

- Láminas de fibras sintéticas, polipropileno
- Mallas plásticas con lamina filtrante
- Placas drenantes de fibras textiles recicladas
- Placas drenantes de polietileno
- Placas drenantes de polietileno.

Para la capa drenante se utilizarán materiales con las características siguientes:

- Con estructura duradera y estable
- Estabilidad de forma y función
- Lo más ligeros posibles
- Inocuo para la vegetación (contenido en sales y en carbonatos solubles)
- Química y físicamente estables.

7.2.2 PENDIENTES REQUERIDAS.

El soporte base de las cubiertas naturadas deberá tener una pendiente mínima del 2%. Para el caso de cubiertas inclinadas, con pendiente superior al 36% (20° aproximadamente) y menor al 58% (30° aproximadamente), en la tabla 7.3 se muestra la equivalencia de los porcentajes de pendientes a grados, se deberán implementar las protecciones adecuadas contra deslizamientos; las cuales serán seleccionadas por el encargado responsable del proyecto y el encargado responsable de la construcción de la siguiente lista: (NADF-013-RNAT-2007)

- Láminas con receptáculos
- Mallas tridimensionales
- Tableros o vigas dispuestos perpendicularmente a la pendiente
- Tirantes dispuestos horizontalmente entre la capa de sustrato
- Para cubiertas inclinadas con una pendiente mayor al 58% deberán tomarse las medidas complementarias que resulten pertinentes para garantizar la estabilidad de los materiales tales como el anclado de las protecciones y el análisis estático.

En cubiertas con pendientes superiores al 5% es recomendable el uso de sustratos monocapa y en cubiertas con pendiente mayor al 10% es obligatorio para evitar los deslizamientos.

TABLA 7. 2. EQUIVALENCIAS PARA PENDIENTES DE PORCENTAJES A GRADOS.

| Tabla de equivalencia para pendientes de porcentajes a grados | | | |
|---|--------|-----|--------|
| 2% | 1.15° | 50% | 26.57° |
| 5% | 2.86° | 55% | 28.81° |
| 10% | 5.71° | 60% | 30.96° |
| 15% | 8.53° | 65% | 33.02° |
| 20% | 11.31° | 70% | 34.99° |
| 25% | 14.04° | 75% | 36.87° |
| 30% | 16.70° | 80% | 38.66° |
| 35% | 19.29° | 85% | 40.36° |
| 40% | 21.80° | 90% | 41.99° |
| 45% | 24.23° | 95% | 43.53° |

Fuente: NADF-013-RNAT-2007

7.3 AISLAMIENTO TÉRMICO Y DE RAÍCES

Si bien sabemos desde la antigüedad se implementaba capa de vegetación en pequeñas viviendas con la finalidad de manipular la temperatura de la vivienda. Más que nada esto surgió en partes muy frías de Europa. Posteriormente con el uso de vegetación un poco más grande empezaron a surgir problemas con la penetración de la losa provocada por las raíces.

7.3.1 AISLAMIENTO TÉRMICO.

La capa de aislante térmico tiene como función disminuir la temperatura del inmueble en época de verano y elevar la temperatura del inmueble en época de invierno, esto con la ayuda de capas de polietilenos o alguno otro materiales tales como: lana de vidrio, espuma polietileno, etc.

De manera natural, las capas de plantas sobre los techos tienen un alto efecto de aislación térmica, debido a los siguientes fenómenos:

- El colchón de aire encerrado hace el efecto de una capa de aislante térmico, cuando más denso y grueso sea este, mayor es el efecto.
- Una parte de la radiación calórica de onda larga emitida por el edificio es reflejada por las hojas y otra parte absorbida. Es así que disminuye la pérdida de radiación de calor del edificio.
- Una densa vegetación impide que el viento llegue a la superficie del sustrato. Como ahí casi no existe movimiento de aire, la pérdida de calor por efecto de viento se acerca a cero.

7.3.2. MEMBRANA IMPERMEABLE ANTI-RAÍZ.

Las membranas impermeabilizantes anti raíz para sistemas de naturación deberán cumplir con las siguientes condiciones particulares:

- Estabilidad dimensional
- Migración de plastificantes menor al 1% en volumen
- Resistencia a la perforación por raíces y a microorganismos.
- Resistencia a la tensión y tracción de los movimientos estructurales
- Resistencia al choque térmico y variación de temperatura ambiental
- Resistencia al punzonamiento.

La propiedad anti raíces de la membrana impermeable deberá estar certificada por un organismo competente y reconocido, ya que las emulsiones o fieltros con supuestas propiedades anti raíces no son adecuadas para este tipo de sistemas.

En caso de utilizar un impermeabilizante anti-raíz bituminoso, éste deberá contar con un espesor mínimo de 4 mm y un refuerzo de poliéster de al menos 180 g/m². Además la membrana seleccionada deberá contar con un acabado superior que la proteja e incremente su resistencia mecánica para transitar sobre ella. NADF-013-RNAT-2007

7.4 SISTEMA DE DRENAJE INTERNO DE LA AZOTEA VERDE

El sistema de drenaje interno de un azote a verde, está compuesto por un sistema de desalojo de agua, este sistema está compuesto por: coladeras, rejillas, bajadas de agua (tuberías), entre otros y por algunas capas de los componentes básicos de la cubierta saturada, que ayudan a ésta función, algunas de las capas son:

- Capa filtrante. Esta capa evita el paso de las partículas finas, las cuales podrían tapar la capa drenante.
- Capa drenante. Recibe las precipitaciones excedentes en toda la superficie y las conduce al desagüe de la cubierta.

El desagüe se produce principalmente en el sustrato; si la capa es fina o la lluvia es copiosa, también se produce en la superficie. Según las normas alemanas (DIN 1986), parte 2, deben tomarse los siguientes valores de desagüe de aguas pluviales para superficies de techos enjardinados:

- para verdeados intensivos: 0.3 (es decir 30%)
- para verdeados extensivos por encima de 10 cm de espesor: 0.3
- para verdeados extensivos por debajo de 10 cm de espesor: 0.5

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

7.5 MEDIOS DE SOPORTE DE LA VEGETACIÓN

Los medios de soporte de la vegetación pueden ser de materiales anteriormente descritos como: concreto, piedra, madera, acero. Cabe mencionar que cada material presente diferentes propiedades y esto otorga ventajas y desventajas, es por esto que se debe saber bien con que se cuenta y que se busca obtener para la elección del material de soporte indicado en ese caso.

Anteriormente mencionamos que en la ciudad de Ixtapa – Zihuatanejo la mayoría de las construcciones son a base de concreto, siendo este el mejor material, con las mejores ventajas en la instalación de naturación en una azotea. Dado el caso, que construya o no con concreto, se debe tener en cuenta las cargas adicionales que se obtienen en la incorporación de vegetación, dichas cargas adicionales se muestra anteriormente en el tema 6, inciso 6.7.1 soporte estructural.

7.6 TIPO DE VEGETACIÓN.

Para la elección del tipo de vegetación a implementar en una azotea verde en un sitio en específico, debemos conocer aspectos importantes, uno de ellos es el tipo de clima predominante y otro es la temporada de lluvias.

El clima que predomina en la población de Ixtapa - Zihuatanejo es el cálido-subhúmedo, con temperatura media anual de 26 °C. El régimen de lluvias comprende los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

De lo anterior se deduce que, en la zona de estudio se puede implementar la mayoría de vegetación nativa y acorde al tipo temperatura. En el capítulo 6, se describen los diferentes tipos de vegetación y se muestran algunos ejemplos.

CAPÍTULO 8
PROPUESTA DE CASO DE
ESTUDIO

8. PROPUESTA DE CASO DE ESTUDIO

La localidad de Ixtapa-Zihuatanejo, se encuentra suroeste del Estado de Guerrero, como se menciona anteriormente, es un puerto de gran importancia, su temperatura media es de 26 °C, el tipo de vegetación que predomina, los altos consumos de electricidad producidos por aparatos eléctricos como aire acondicionados y ventiladores.

Se menciona los beneficios que se obtienen con la instalación de una azotea verde, por ejemplo: una vista más estética de los inmuebles, disminución en el consumo de electricidad, una estancia con mayor confort a los habitantes y a los turistas, etc.,

8.1. DISEÑO DE LA LOSA EN UNA CASA HABITACIÓN NUEVA.

De anterior mencionado lleva a la propuesta de un caso de estudio en esta localidad y a continuación se hace un ejemplo general para el diseño y/o análisis de una construcción nueva y se hace la revisión para una ya existente, esta se basara en una casa habitación.

8.2 ELECCIÓN DE LA VEGETACIÓN

En el diseño se propuso que se desea instalar una naturación semi intensiva, las características que involucran en la elección de la capara de vegetación de estos sistemas son:

- Altura de crecimiento de 5 a 100 cm
- Substrato 15-30 cm
- Cobertura vegetal de tipo crasuláceas, pastos y arbustos.

Para una buena elección se debe considerar algunos factores que ayudaran a la supervivencia de la vegetación debido a las características climatológicas mencionadas anteriormente de la localidad como:

- Espesor del sustrato.
- Efectividad de almacenaje de agua del sustrato.
- Altura de crecimiento.
- Resistencia a las sequías.
- Gasto de mantenimiento
- Aspecto óptico o visual.

Una vez conociendo este aspecto se prosigue con la elección de la vegetación, cabe mencionar que se mencionan que plantas son nativas de la región y ya que en el diseño se incluye un sistema semi-intensivo se puede elegir entre una variedad mayor de vegetación, entrando entre ellas los siguientes tipos:

- De tipo de ornato.
- De tipo de hortaliza
- Árboles y arbustos.
- Hierbas y musgos.
- Césped y pastos.

De lo anterior aplicará el criterio y costo de la vegetación que se desee implementar, esto dependerá del propietario, siempre y cuando cumpla con las características ya mencionadas anteriormente.

Para nuestro caso se puede partir de: ejemplo de azote de xerófilas, una azotea de hortalizas, una de ornato y una compuesta, y a continuación se mencionan aquellas plantas que se pueden usar.

- VEGETACIÓN DE TIPO ORNATO.
 - Berberis
 - Nandina
 - Agapando
 - Bignonia
 - Bouganvilla
 - Buxus
 - Hortensia
 - Lantana

- VEGETACIÓN DE TIPO HORTALIZA.

- Frijol
- Habas
- Chiles
- Jitomate
- Calabaza
- Sandia
- Melón

- VEGETACIÓN DE TIPO XERÓFILAS.

- Maguey
- Sábila
- Lechuguilla
- Corona de cristo
- Candelilla

8.2.1 DESALOJO DE PRECIPITACIÓN EXCESIVA.

Los elementos a incluir el diseño son: coladeras, y bajadas de aguas.

- A continuación se muestra donde serán ubicadas, cabe mencionar que la dimensión de nuestra casa habitación es de 44.06 m^2 , por lo tanto con la colocación de dos bajadas de agua se evitara la acumulación de agua ocasionada por precipitación excesiva, la temporada de lluvia de la zona de casa de estudio comprende de junio a septiembre, con una media en precipitación de 215.6 milímetros/ pulgadas.

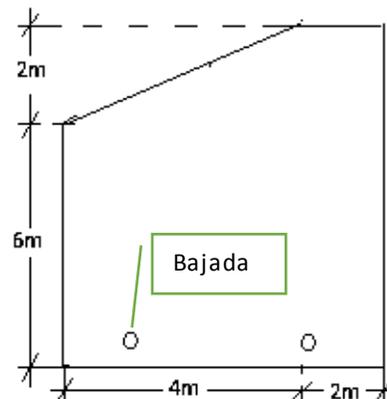


FIG. 8. 1. UBICACIÓN DE LAS COLADERAS PARA LA BAJADA DE AGUA PARA CONSTRUCCIÓN NUEVA.

8.2.2 CAPAS BÁSICAS DE LA AZOTEA VERDE.

Las capas a utilizar en este diseño son las siguientes:

- Soporte estructural, se incluye una losa de concreto armado clase 2 con un $f'c = 250$ kg/cm², 15 cm de peralte, utilizando 4.5 cm² de acero por 1 m² y una pendiente de 5%.
- Aislante térmico, se incluye una capa lisa de espuma de polietileno expandido.
- Membrana anti-raíz, se incluye una membrana de polietileno de calibre de 10 milésimas como nimio.
- Capa drenante, se incluye una lámina de cubierta ecológica.
- Capa filtrante, se incluye una lámina de geotextil, con una permeabilidad al agua 10 veces superior a la del sustrato.
- Capa de sustrato, se incluye una capa de arcilla de 10 cm de espesor.
- Capa de vegetación, se incluye vegetación de la zona.

Nota: anteriormente se hace mención de las características que debe cumplir cada capa (capítulo 6, del inciso 6.7.1 hasta el 6.7.8)

8.2 CARACTERIZACIÓN DE AZOTEAS DEL CASO DE ESTUDIO

En el municipio de José Azueta se encuentra ubicado las localidades que comprenden Ixtapa-Zihuatanejo, dicho municipio tiene un total de viviendas de 45,024, que representa un 4.11% en el estado. Y las localidades que se involucran en el caso de estudio (Zihuatanejo e Ixtapa) suman un total de 31,343 viviendas, teniendo un 69.31% del municipio. INEGI

En la tabla 8.1 se tienen la cantidad de vivienda que se encuentran en la localidad del caso de estudio, dependiendo del material con el que este fabricada la losa y en la tabla 8.2 se encuentra en porcentajes.

TABLA 8. 1. CANTIDAD DE VIVIENDAS POR TIPO DE LOSA EN LA LOCALIDAD DE IXTAPA-ZIHUATANEJO.

| CARACTERIZACIÓN DE VIVIENDAS EN CANTIDADES DE IXTAPA-ZIHUATANEJO | | | | | | | | | |
|--|---------------|----------|--------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|
| LOCALIDAD | No. VIVIENDAS | CONCRETO | % | MADERA | % | TEJAS | % | LAMINAS | % |
| ZIHUATANEJO | 22,182 | 21,716 | 97.90% | 98 | 0.44% | 153 | 0.69% | 215 | 0.97% |
| IXTAPA | 9,161 | 9,159 | 99.98% | 0 | 0% | 2 | 0.02% | 0 | 0% |

Fuente: INEGI y H. Ayuntamiento de Zihuatanejo

De la tabla anterior se puede observar que solamente se podrá implementar azoteas verdes en superficies de concreto, esto limita a aquellas cuya estructura es de madera, teja y lamina por no ser las adecuadas para resistir cargas debidas a naturación forzada.

La diferencia entre una naturación forzada y una no forzada es que: la primera; es aquella que ejecuta el hombre, y la no forzada; es aquella que se va dando por si sola, es decir, que sin la ayuda del hombre, la vegetación por si misma va tomando el uso de algún lugar donde antes no existía.

TABLA 8. 2. CANTIDAD Y PORCENTAJES DE VIVIENDAS DE LOSA DE CONCRETO CON DIFERENTES PENDIENTES.

| CANTIDAD DE VIVIENDAS CON DIFERENTES PENDIENTES | | | | | | | |
|---|----------|---------|-----|---------|-----|----------------|----|
| LOCALIDAD | CONCRETO | Pen. 2% | % | Pen. 5% | % | Pen. mas de 5% | % |
| ZIHUATANEJO | 21,858 | 15,983 | 73% | 4,640 | 21% | 1,235 | 6% |
| IXTAPA | 9,159 | 6201 | 68% | 2,653 | 29% | 305 | 3% |

Fuente: INEGI y H. Ayuntamiento de Zihuatanejo

Como se menciona anteriormente existen dos tipos de naturación, la directa y la indirecta; la primera se refiere a la naturación sobre el firme de la losa, la segunda; hace referencia a las vegetación que se encuentra en macetas y que esta ubicadas en la azotea. En la siguiente tabla se tiene la cantidad y porcentaje de cada una.

TABLA 8. 3. CANTIDAD DE VIVIENDAS CON LOS DIFERENTES TIPOS DE NATURACIÓN EN IXTAPA-ZIHUATANEJO.

| CANTIDAD DE VIVIENDAS CON LOS DIFERENTES TIPOS DE NATURACIÓN | | | | | |
|--|---------------|------------|----|--------------|-----|
| LOCALIDAD | No. VIVIENDAS | N. DIRECTA | % | N. INDIRECTA | % |
| ZIHUATANEJO | 22,182 | 0 | 0% | 985 | 4% |
| IXTAPA | 9,161 | 0 | 0% | 1205 | 13% |

Fuente: H. Ayuntamiento de Zihuatanejo

Nota: los valores son un aproximado del real, los valores se obtuvieron de INEGI (cantidades totales de viviendas), y del H. Ayuntamiento de Zihuatanejo (por tipo de losa, pendiente y naturación).

8.3 ANÁLISIS DE COSTO POR METRO CUADRADO DE AZOTEA VERDE

Se realizó el análisis de costo por metro cuadrado para una azotea verde con los precios actuales en el mercado de los materiales del sitio de caso de estudio, dado como resultado que por 1 m² de este sistema el precio es de \$785.61 considerando los aspectos constructivos del apartado 6 del presente documento.

Nota: los cálculos realizados se encuentran en el apartado de anexos 2.

8.4 RELACIÓN COSTO - BENEFICIO

El costo como anteriormente se mencionó por metro cuadrado de una azotea verdes es de \$785 pesos aproximadamente, es decir, si la azotea tiene una superficie es de 44 m², la inversión inicial sería de \$33,352 pesos.

Los beneficios que se obtendrían serían los siguientes:

- Económicos.
 - El promedio del predial en la localidad de Ixtapa-Zihuatanejo es de 2000 pesos por predio; es decir, el ahorro en este caso sería 300 pesos por año por predio; en cuanto a estímulo fiscal.
 - El consumo de electricidad disminuiría entre un 15% hasta un 35% con la disminución del uso del aire acondicionado, ventiladores, etc., esto indica un ahorro promedio por bimestre de \$120 pesos. Al año, el ahorro por la instalación de una azotea verde sería de \$720 pesos.
 - Con la incorporación de una azotea verde, ya no sería necesario el uso de impermeabilizantes; por lo que se tendría un ahorro aproximado de \$500 pesos por año.

Esto indica que la inversión inicial se recuperará en aproximadamente 15 años, pero se cree que los incentivos por partes las autoridades competentes aumenten en los próximos años.

Mas sin embargo, hoy en día se registran records en índices de calentamiento global, emisiones de dióxidos de carbonos, destrucción de áreas verdes, deforestaciones. El impacto ecológico que se tiene con este tipo de sistema es muy alto, y más importante que nada, el beneficio que no tiene costo alguno, la salud.

CAPÍTULO 9
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- México a nivel Latinoamérica, es uno de los principales países en adoptar este sistema en pro del medio ambiente, contando ya con legislación al respecto, al menos en los centros poblacionales más importantes, esto hace que la gente tome un poco más de conciencia respecto a los problemas ambientales que hoy en día se tienen, siendo el calentamiento global el más alarmante y con mayor influencia dentro de alteraciones en el ambiente, el ejemplo más significativo son las alteraciones en los cambios climatológicos.
- La inversión que conlleva la instalación de una azotea verde se recuperara en un lapso no mayor a los 15 años. Sin embargo cabe recalcar que los beneficios sociales, ambientales y de salud, tendrán mucha influencia respecto a que se lleve a cabo la naturación de la azotea.
- El resultado que se obtiene en la tabla 8.6 indica que más del 95% de los inmuebles en la localidad del caso de estudio son de concreto, esto favorece a que el sistema de azotea verde que se instale no tenga ningún problema por factores de resistencia al peso que conlleva dicho sistema.
- Hay una gran cantidad de variables en los materiales que integran una azotea verde, por eso los costos, las formas y las magnitudes pueden variar dependiendo del gusto y diseño de quien desee instalarlo. Dando como resultado un precio accesible al ser comparado con el costo – beneficio, dicho costo es de \$785 pesos por m².
- Puede existir dentro de una azotea verde vegetación de tipo hortaliza, obteniendo así un espacio recreativo y así mismo, un lugar donde se puede sembrar y cosechar parte de los alimentos de autoconsumo, evitando químicos y pesticidas, dicha vegetación se adapta muy bien a la localidades del caso de estudio, en este caso Ixtapa - Zihuatanejo.

CAPÍTULO 10

BIBLIOGRAFÍA

10. BIBLIOGRAFÍA

- Bartfelder, F. y Köhler, M.: Stadtklimatische und lufthygienische Entlastungseffekte durch Kletterpflanzen in hochbelasteten Innenstadtbezirken. Verh. d. Gesellschaft f. Ökologie, Gieben 1986 Band XVI
- Código fiscal del distrito federal. Código publicado en la gaceta oficial del distrito federal, el martes 29 de diciembre de 2009. Págs. 199-200
- Dr. Ernesto Jauregui. "Y la ciudad hirvió", Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM, 2005.
- DIN 1986. Deutsches Institut für Normung, parte dos.
- Dürr, A.: Dachbegrünung. Bauverlag, Wiesbaden 1995
- Gaceta Oficial del Distrito Federal, órgano de difusión del gobierno del distrito federal, décima séptima época 3 de mayo de 2011 no. 1087. Pág. 4
- Gaceta oficial del distrito federal, órgano del gobierno del distrito federal, décima séptima época 24 de diciembre de 2008 no. 491. Págs. 12-31
- Katzschner, L: Ergebnisse des Versuchs zur Abflubmessung eines Grasdachs, Informe inédito, Universidad de Kassel 1991
- Ley de Desarrollo Urbano del Distrito federal, Gaceta Oficial del Distrito Federal, 29 de enero de 1996, pág. 71
- Lótsch, B.: Stadtklima und Grün, en Andrtzky, Spitzer (ed.): Grün in der Stadt. Reinbek 1981, pág. 134-153
- Minke, Gernot (2004) "techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos." Editorial, fin de siglo. Cd. Montevideo, Uruguay.
- Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios Y Acciones Para El Diseño Estructural De Las Edificaciones, 2004
- Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, 2004.
- Robinette, G.O.: Plants, People and Environmental Quality. US Department of Interior. Washington, 1972
- Secretaría del Medio Ambiente, Dirección General de Planeación y Coordinación de Políticas, Plan Verde de la Ciudad de México. Junio de 2011 Pag. 2
- Tanner y scholz-barth (2004) "green roofs". Editorial energy

WEBGRAFÍA

AMENA, <http://www.amenamex.org/webv2/> (consultado el mes de septiembre de 2015)

Asociación internacional de techos verdes , <http://www.igra-world.com/>, (consultado el mes de septiembre de 2015)

Gudiña V. 2009. Jardines en azoteas podrían ayudar a combatir la contaminación (Publicado en 2007). Consulta electrónica. <http://elblogverde.com/jardines-en-azoteas-podrian-ayudar-a-combatir-la-contaminacion/> (consultado el mes de octubre de 2015)

INEGI, www.inegi.gob.mx (consultado el mes de noviembre de 2015)

SEDEMA, www.sedema.df.gob.mx/ (consultado el mes de septiembre de 2015)

Techos Verdes para Ciudades Saludables, <http://www.greenroofs.org/>, (consultado el mes de septiembre de 2015)

ANEXOS 1. Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las Especificaciones Técnicas para la Instalación de Sistemas de Naturación en el Distrito Federal (Secretaría del Medio Ambiente).



"2008-2010. Bicentenario de la Independencia y Centenario de la Revolución, en la Ciudad de México"

GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL

Órgano del Gobierno del Distrito Federal

DÉCIMA SÉPTIMA ÉPOCA

24 DE DICIEMBRE DE 2008

No. 491

Í N D I C E

ADMINISTRACIÓN PÚBLICA DEL DISTRITO FEDERAL

SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE

- NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-011-AMBT-2007 QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN FUENTES FIJAS DE JURISDICCIÓN DEL DISTRITO FEDERAL QUE UTILIZAN SOLVENTES ORGÁNICOS O PRODUCTOS QUE LOS CONTIENEN 3
- NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-013-RNAT-2007, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE NATURACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL 12

SECRETARÍA DE SALUD

- DIVERSOS CONVENIOS ESPECÍFICOS EN MATERIA DE TRANSFERENCIA DE INSUMOS QUE CELEBRAN POR UNA PARTE EL EJECUTIVO FEDERAL Y POR LA OTRA PARTE EL EJECUTIVO DEL DISTRITO FEDERAL 34

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL DEL DISTRITO FEDERAL

- ACUERDO MEDIANTE EL CUAL SE APRUEBAN LOS DÍAS INHÁBILES DE LA OFICINA DE INFORMACIÓN PÚBLICA DE LA SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL DEL DISTRITO FEDERAL, CORRESPONDIENTES AL AÑO 2008 Y ENERO DE 2009, PARA EFECTOS DE LOS ACTOS Y PROCEDIMIENTOS DE COMPETENCIA DE ESTA OFICINA 96

CONSEJERÍA JURÍDICA Y DE SERVICIOS LEGALES

- AVISO POR EL QUE SE DA A CONOCER EL CAMBIO DE DOMICILIO DE LA NOTARÍA 111 DEL DISTRITO FEDERAL, CUYO TITULAR ES EL LICENCIADO FRANCISCO DE ICAZA DUFOUR 99

INSTITUTO ELECTORAL DEL DISTRITO FEDERAL

- ACUERDO DEL CONSEJO GENERAL DEL INSTITUTO ELECTORAL DEL DISTRITO FEDERAL POR EL QUE SE APRUEBA EL REGLAMENTO DEL INSTITUTO ELECTORAL DEL DISTRITO FEDERAL PARA LA FISCALIZACIÓN DE LOS RECURSOS DE LAS AGRUPACIONES POLÍTICAS LOCALES Y SE ABROGAN LOS LINEAMIENTOS APROBADOS EL 15 DE ENERO DE 2000 100

TRIBUNAL ELECTORAL DEL DISTRITO FEDERAL

- REFORMA A LOS ARTÍCULOS 4 Y 7 DE LAS NORMAS GENERALES DE PROGRAMACIÓN, PRESUPUESTO Y CONTABILIDAD DEL TRIBUNAL ELECTORAL DEL DISTRITO FEDERAL 137

NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-013-RNAT-2007, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE NATURACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL.

Martha Delgado Peralta, Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, con fundamento en los artículos 1, 2, 15 fracción IV, 16 fracciones I, II y IV, 26 fracciones I, III y IX de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal; 1 fracciones III, IV, 5, 6 fracción II, 9 fracciones IV, VII y XLVI, 36 al 41, 87 fracción IX y 89 de la Ley Ambiental del Distrito Federal y Acuerdo por el que se crea el Comité de Normalización Ambiental para el Distrito Federal de fecha 23 de abril de 2002, y acuerdos por los que se reforma el diverso por el que se crea el Comité de Normalización Ambiental para el Distrito Federal de fechas 19 de agosto de 2005 y 4 de julio de 2007; ordena la publicación de la Norma Ambiental para el Distrito Federal que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal; la publicación se ordena una vez publicadas en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, las respuestas a los comentarios ingresados durante la consulta pública del Proyecto de Norma PROY-NADF-013-RNAT-2007, publicado el 25 de noviembre de 2008 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, por lo anterior, he tenido a bien expedir la siguiente:

NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-013-RNAT-2007, QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE NATURACIÓN EN EL DISTRITO FEDERAL.

ÍNDICE

1. Introducción
2. Objeto
3. Ámbito de validez
4. Referencias
5. Definiciones
6. Información previa requerida
7. Especificaciones generales
8. Especificaciones técnicas de proyecto y ejecución para cubiertas naturadas
 - 8.1. Requerimientos mínimos a satisfacer
 - 8.1.1. Requerimientos previos en edificaciones existentes
 - 8.1.2. Requerimientos previos en edificaciones nuevas
 - 8.2. Estática y seguridad estructural
 - 8.3. Parámetros para cada tipo de naturación
 - 8.4. Componentes básicos de una cubierta naturada
 - 8.5. Soporte base.
 - 8.5.1. Materiales del soporte base
 - 8.5.2. Pendientes requeridas
 - 8.6. Dispositivos para desagüe
 - 8.7. Membrana impermeabilizante anti-raíz
 - 8.7.1. Proceso de verificación de estanquidad de la membrana impermeabilizante anti-raíz
 - 8.7.2. Protección pesada de la membrana impermeabilizante anti-raíz
 - 8.8. Capa drenante (materiales y características)
 - 8.9. Capa filtrante
 - 8.10. Capa de sustrato.
 - 8.10.1. Tipos de sistemas de sustrato.
 - 8.10.2. Materiales y características para la capa de sustrato
 - 8.11. Capa de vegetación
 - 8.11.1. Características de la capa de vegetación
 - 8.11.2. Capa de vegetación en naturaciones semi-intensivas
 - 8.11.3. Capa de vegetación en naturaciones intensivas
 - 8.12. Suministro y plantación
 - 8.13. Naturación ligera para cubiertas
 - 8.14. Criterios para la naturación de cubiertas que cuenten con sistemas fotovoltaicos y/o fototérmicos
 - 8.15. Medidas preventivas y de seguridad durante la ejecución de los trabajos
9. Especificaciones de operación y mantenimiento
 - 9.1. Operación y mantenimiento de elementos constructivos
 - 9.2. Operación y mantenimiento de vegetación
 - 9.3. Riego
 - 9.4. Abonado y adición de sustrato
 - 9.5. Control de plagas y enfermedades
10. Bibliografía

11. Normatividad relacionada
12. Observancia
13. Vigencia

ANEXOS

- I. Colocación de membranas impermeabilizantes anti-raíz de base asfáltica
- II. Colocación de membranas impermeabilizantes anti-raíz a base de PVC, hypalon, propileno-etileno o similares

1. INTRODUCCIÓN

El aumento de edificaciones, como parte del desarrollo de la actividad humana, ha contribuido a la expansión de la mancha urbana y la consecuente pérdida de áreas verdes y superficies permeables por el incremento de áreas edificadas, ocasionando entre otros, problemas ambientales, de salud y sociales, a los habitantes del Distrito Federal ante la reducción de una significativa capacidad del medio natural de la ciudad, para limpiar el ambiente de los agentes contaminantes producidos por el medio urbano, sus medios de transporte y su industria. Paralelo a esta situación, al disminuir la cantidad de áreas verdes se ha reducido la cantidad de absorción de rayos solares por la vegetación deviniendo en un incremento en la temperatura debido a la liberación nocturna de la energía calórica absorbida durante el día por las construcciones y superficies impermeables, generando cambios en el clima y microclima de la ciudad.

Una gran cantidad de áreas verdes que se pierden en la ciudad es ocupada por edificaciones tanto del sector público como del privado, lo cual ha provocado que el Distrito Federal examine cuidadosamente la factibilidad técnica y económica para recuperar y/o restituir las áreas verdes ocupadas por edificaciones de tipos diversos. Por estos motivos se elabora la presente norma buscando aportar a la consecución de objetivos de carácter ecológico y sustentable en la ciudad como una alternativa factible, tanto económica como tecnológica para incidir en la compensación de áreas verdes ocupadas por edificaciones en la ciudad, se propone la instalación de sistemas de naturación a escala urbana.

En la actualidad, el uso de sistemas de naturación a nivel urbano ha mostrado grandes beneficios ambientales en diversas ciudades del mundo, además se cuenta con los materiales para su construcción que garantizan el correcto funcionamiento operativo de dichos sistemas. Sin embargo el uso de sistemas de naturación no ha tenido la debida difusión, por lo que es necesario establecer los requerimientos mínimos de calidad y las especificaciones técnicas mínimas para su construcción y funcionamiento.

El Gobierno del Distrito Federal tiene entre sus prioridades la protección de la salud de los habitantes de la ciudad y la preservación del medio ambiente, así como la promoción y desarrollo de las tecnologías sustentables, por lo anterior la presente norma contribuirá a compensar la pérdida de áreas verdes por edificaciones en la ciudad, propiciando la obtención de beneficios ambientales.

2. OBJETO

Establecer los criterios o especificaciones técnicas, condiciones, parámetros y criterios mínimos de calidad y seguridad estructural, aplicables en la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal.

Los requisitos o especificaciones técnicas, condiciones, parámetros y criterios mínimos de calidad y seguridad, serán aplicables a los materiales y procedimientos constructivos que para tal efecto sean utilizados durante el proceso de planeación, instalación y mantenimiento de los sistemas de naturación.

3. ÁMBITO DE VALIDEZ

Es de observancia obligatoria para las empresas privadas y particulares que se dediquen al diseño, construcción y mantenimiento de sistemas de naturación en el Distrito Federal; así como para todas aquellas personas físicas o morales, organismos públicos o privados y en general a cualquier persona que desee instalar un sistema de naturación en cualquier edificación ubicada en el territorio del Distrito Federal.

4. REFERENCIAS

Para la correcta aplicación de la presente norma, se deben consultar los siguientes documentos:

- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL "Ley Ambiental del Distrito Federal" 31 de enero de 2002, México.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL "Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal" 29 de enero de 1996, México.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal" 29 de enero de 2004, México.
- GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL "Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal", 6 de octubre de 2004, México.
- VELAZQUEZ, LINDA, S. "Organic Green roof Architecture: Design Considerations and System Components, Wiley Periodicals, Inc. Environmental Quality Management." 2005.

- MINKE, GERNOT, Techos verdes – Planificación, ejecución, consejos prácticos, Fin de Siglo, 2004, Uruguay.

5. DEFINICIONES

Para fines de la presente norma, además de las definiciones previstas en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y en la Ley Ambiental del Distrito Federal y demás aplicables en la materia, se entenderá por:

Aislamiento térmico: Aquellos materiales de bajo coeficiente de conductividad térmica dispuestos para reducir los intercambios térmicos entre el interior y exterior de una edificación.

Altura de la planta: Distancia vertical desde el cuello de la raíz hasta la punta más alta de una planta.

Capa complementaria: Capa que se coloca entre los elementos de un sistema de naturación de forma intercalada para proporcionarle características específicas y que puede ser antiadherente, antipunzonante, drenante, filtrante, ignífuga o separadora.

Capa de sustrato: Capa superior penúltima de una naturación, formada con material inerte predominantemente mineral y material orgánico, la cual está destinada a proporcionar los nutrientes necesarios, suministrar agua y oxígeno dando soporte físico a la vegetación.

Capa de vegetación: Última capa exterior de una naturación, formada por plantas adaptadas a las condiciones físicas y climáticas de la zona, destinadas a dar a la edificación un acabado vegetal que genera áreas verdes de carácter ecológico.

Capa drenante: Capa complementaria prefabricada dispuesta para permitir la salida de las aguas que se estanquen sobre algún elemento de la edificación.

Capa filtrante: Capa complementaria de materiales prefabricados cuya función es evitar el paso de las partículas finas de la capa de sustrato y permitir el paso del agua hacia la capa drenante.

Capa separadora: Capa complementaria que se intercala entre los elementos de un sistema de naturación para facilitar los movimientos diferenciales entre los componentes del sistema y/o brindar protección química.

Combustibilidad: Calidad de poder arder o quemarse, inflamabilidad.

Control de plagas: Tratamiento aplicado para librar a la planta de plagas que la estén afectando una vez diagnosticado con precisión el tipo de plaga.

Cubierta: Elemento o conjunto de elementos que sirven como cerramiento superior de una edificación que se encuentran comprendidos entre la superficie inferior del último techo y el acabado en contacto con el exterior.

Cubierta con naturación extensiva: Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento extensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento muy bajos o casi nulos cuya capa de sustrato no debe ser mayor de 18 cm y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es de entre 110 y 140 kg/m².

Cubierta con naturación intensiva: Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales o frecuentes cuya capa de sustrato es de 20 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es superior a los 250 kg/m².

Cubierta con naturación semi-intensiva: Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento semi-intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales cuya capa de sustrato es de 15 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) generalmente es de entre 150 y 250 kg/m².

Director Responsable de Obra: Es la persona física auxiliar de la administración pública, autorizada y registrada por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda que se hace responsable de la observancia de la Ley de Desarrollo Urbano, del Reglamento de Construcciones y demás disposiciones aplicables, y que entregará su responsiva en relación a la seguridad estructural del inmueble.

Edificación existente: Cualquier edificación que se pretenda naturar, la cual haya sido construida previo a la intención de naturarla y en la cual, consecuentemente, la naturación no es parte integral del proyecto inicial.

Edificación nueva: Cualquier edificación en la que el sistema de naturación forme parte integral del proyecto inicial, previo a la etapa de construcción de la edificación en su conjunto.

Estanquidad: Cualidad de un elemento de estar perfectamente sellado en sus uniones.

Fitotoxicidad: Presencia de sustancias que producen la muerte o trastornos fisiológicos a los vegetales.

Formación de pendiente: Acción de generar pendiente, en un elemento constructivo dado, por medio de elementos de espesor variable con el fin de facilitar la evacuación del agua hacia los sumideros, desagües o bajadas de agua.

Impermeabilidad: Propiedad de los cuerpos de no dejar pasar líquidos a su través.

Membrana impermeabilizante anti-raíz: Membrana de materiales diversos que tiene como función evitar el paso del agua al interior de las edificaciones e impedir que las raíces y los microorganismos dañen la edificación haciendo impermeable el elemento o grupo de elementos constructivos deseados.

Planta C3: Planta que fija y reduce el CO₂ atmosférico de modo directo mediante el ciclo de Calvin formando inicialmente compuestos con tres carbonos.

Planta herbácea: Planta no lignificada, o apenas lignificada, con aspecto y consistencia de hierba. Dentro de las plantas herbáceas se pueden distinguir las anuales, bienales, perennes vivaces y perennes perennifolias.

Planta suculenta: Aquella en la que su tallo, hoja, raíz o la planta completa es jugosa o carnosa ya que tiene tejidos engrosados por reservas de agua o azúcar como en la mayoría de las crasuláceas y cactáceas.

Planta vivaz: Planta perenne de parte aérea efímera cuyos órganos epigeos duran un solo periodo vegetativo que se conserva gracias a sus rizomas, tubérculos, bulbos, etc.

Plantas C4: Planta en la que inicialmente el CO₂ atmosférico es fijado en un ácido orgánico de cuatro carbonos y en la que en una descarboxilación posterior, se libera el CO₂ el cual es captado y reducido mediante el ciclo de Calvin. Son plantas adaptadas a regímenes de radiación elevados que no resisten las temperaturas bajas.

Plantas CAM: Planta adaptada a hábitat xerofíticos que absorbe y fija el CO₂ durante la noche acumulando ácido málico que se descarboxila durante el día y se produce CO₂.

Porte: Aspecto y configuración externa de una planta definidos por su forma y altura.

Protección pesada: Elemento o conjunto de elementos colocados en obra dispuestos sobre el aislamiento térmico o la membrana impermeabilizante anti-raíz destinados a protegerlos de los efectos nocivos de origen externo.

Secretaría: Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

Sistema de naturación: Es el tratamiento técnico de superficies edificadas horizontales o inclinadas, individuales o agrupadas mediante el cual se incorpora en un elemento o grupo de elementos constructivos tradicionales capas de medio de crecimiento y vegetación especialmente adaptada a las condiciones físicas y climáticas del sitio en que se instala, creando una superficie vegetal inducida.

Soporte base: Elemento constructivo que recibe directamente el impermeabilizante anti-raíz o membrana impermeabilizante anti-raíz, puede coincidir o no con el elemento estructural (soporte estructural) y suele ser el elemento que forma la pendiente.

Soporte estructural: Elemento constructivo que soporta el peso de las demás capas del sistema de naturación y lo distribuye hacia las vigas, cadenas de cerramiento, muros de carga, etc. para su posterior descenso hacia la cimentación.

Subarbusto: Vegetal de poca altura similar a un arbusto sólo lignificado en la base.

Vegetación endémica: Se aplica a las especies vegetales originarias de una región o comarca restringida.

6. INFORMACIÓN PREVIA REQUERIDA

Para garantizar una correcta planeación y ejecución de una naturación, es necesario conocer características específicas de los elementos constructivos, la edificación y la zona en que se encuentra, para ello es necesario contar con la siguiente información previo a la etapa de planeación y/o proyecto.

Información arquitectónica y física de la edificación:

- Altitud y altura de la edificación.
- Dimensiones de la superficie a naturar.
- Pendiente de la superficie a naturar.
- Ubicación de los accesos a la superficie que se va a naturar.
- Ubicación y estado de las instalaciones que discurren por la superficie a naturar.
- Ubicación y estado de las juntas estructurales (para el caso de cubiertas naturadas).
- Ubicación y estado de las tomas de agua de riego más cercanas a la superficie a naturar.
- Ubicación y estado de los elementos singulares (tales como tubos, ductos, muertes, etc.) y demás elementos constructivos de la superficie a naturar.
- Ubicación y estado de los puntos de desagüe, sumideros y/o bajadas de agua.
- Porción o porciones de la superficie a naturar protegida(s) del agua de lluvia por elementos constructivos.
- Porción o porciones de la superficie a naturar que reciben sombra de construcciones y/o vegetación aledañas o de los elementos constructivos de la propia edificación durante la mayor parte del día.
- Orientación de la superficie a naturar en relación al asoleamiento y vientos dominantes.

Información estructural:

- Carga máxima admisible, dimensiones y altura de la superficie a naturar y sus elementos portantes.
- Ubicación y estado de los elementos estructurales de la planta inferior inmediata a la cubierta (para el caso de cubiertas naturadas).

Información sobre la vegetación:

- Vegetación adaptada a las condiciones físicas y climáticas de la zona.
- Vegetación endémica de la zona.

7. ESPECIFICACIONES GENERALES

Los sistemas de naturación tienen como objetivo principal incrementar la cantidad de áreas verdes que proporcionen beneficios ambientales, aportar al embellecimiento paisajístico de las edificaciones y compensar el área verde perdida por la construcción de edificaciones. También tienen funciones de aislamiento térmico y acústico, protección de la edificación contra los efectos de los rayos solares y de la intemperie así como reducir los gastos energéticos producidos por el uso de equipos de calefacción y refrigeración al interior de los inmuebles.

Las personas que deseen instalar sistemas de naturación deberán presentar el proyecto ejecutivo para aprobación ante la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal previo a que se inicien los trabajos; para lo cual deberán tomar en cuenta estos lineamientos y especificaciones técnicas, respetando siempre el medio ambiente bajo criterios de sustentabilidad desde los procesos de fabricación de materiales para la naturación hasta el reciclado de los mismos cuando queden en desuso.

8. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE PROYECTO Y EJECUCIÓN PARA CUBIERTAS NATURADAS

Para satisfacer los requerimientos de calidad y seguridad en una cubierta naturada se deberán seguir las siguientes especificaciones durante los procesos de proyecto y ejecución. Estas especificaciones deberán ser atendidas y supervisadas por el encargado responsable del proyecto y el encargado responsable de la construcción de una naturación de tal modo que garanticen su aplicación.

8.1. REQUERIMIENTOS MÍNIMOS A SATISFACER

La naturación y sus elementos constituyentes deberán satisfacer por lo menos los requerimientos siguientes:

- **Estabilidad y resistencia mecánica:** La naturación y sus componentes deben ser estables y resistir las acciones consideradas en el cálculo estructural de la edificación de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias, se deberá garantizar el correcto comportamiento estático y estructural de la construcción en su conjunto.
- **Impermeabilidad:** Los sistemas de naturación deben impedir el paso del agua al interior de la edificación protegiéndola de los agentes climáticos previsibles garantizando la evacuación total del agua excedente, una vez alcanzado el estado de saturación del sistema.
- **Resistencia a la acción de las raíces sobre la estructura:** la naturación debe proyectarse y construirse con los materiales adecuados, garantizando que las raíces de la capa de vegetación no penetren la membrana impermeabilizante para evitar daños a la estructura de la edificación.

- **Seguridad civil en maniobras:** La naturación debe proyectarse y construirse de modo que permita el acceso para los trabajos de mantenimiento, inspección y reparación tanto de los elementos de la propia superficie a naturar como de las instalaciones que discurren por ella, y debe disponer de los elementos de seguridad adecuados para el personal que realiza estos trabajos.

8.1.1. Requerimientos previos en edificaciones existentes

En el caso de edificaciones existentes será necesario, en primer lugar, realizar un análisis y evaluación estructural; el cual deberá ser presentado ante la Secretaría del Medio Ambiente al momento de presentar el proyecto ejecutivo. Dicha evaluación deberá ser realizada por un Director Responsable de Obra (DRO) y realizarse conforme a lo previsto en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

Para efectos del cálculo estructural, el peso de la naturación será considerado como una carga muerta y el valor a tomar deberá corresponder con el indicado en la siguiente tabla:

| Tipo de naturación | Extensiva | Semi-intensiva | Intensiva |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Carga adicional | 110 -140 kg/m ² | 250 kg/m ² | >250 kg/m ² |

Nota: los valores indicados corresponden al peso propio de una naturación en estado saturado (a capacidad máxima de agua) y por ningún motivo podrán considerarse para el cálculo estructural los pesos de una naturación en seco. Los sistemas de naturación deberán tener un peso máximo en estado saturado que sea menor o igual al considerado por el DRO para el cálculo y/o evaluación estructural.

En caso de que la edificación no pueda soportar la carga adicional del sistema de naturación, deberán realizarse los trabajos de refuerzo estructural necesarios conforme a lo estipulado en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

En caso de que la edificación no pueda soportar la carga adicional del sistema de naturación y no se puedan realizar trabajos de refuerzo estructural, no se podrá construir o instalar ningún sistema de naturación salvo el mencionado en el apartado 8.13., siempre que la estructura soporte los pesos mencionados en dicho apartado.

La cubierta deberá contar con pretilas de por lo menos 20 cm en toda la periferia para contener el sistema. En caso de no tener pretilas, deberán construirse antes de iniciar los trabajos de naturación. Asimismo, deberá verificarse que los desagües y/o bajadas de aguas funcionen correctamente y tengan la capacidad suficiente para desalojar toda el agua de las precipitaciones sobre la cubierta; en caso de encontrar alguna anomalía o insuficiencia deberán tomarse las medidas correctivas correspondientes.

En todos los casos la cubierta deberá contar con rebosaderos con una altura de 5 cm, por arriba del nivel de sustrato.

Se debe preparar la superficie a naturar de modo que los equipos y las instalaciones que se encuentren sobre la cubierta, no obstaculicen los trabajos; especialmente los de impermeabilización.

La cubierta deberá contar con chaflanes a 45° de por lo menos 8 cm de altura en todos los puntos de encuentro con elementos verticales. En caso de que no se tengan los chaflanes, se deberá proceder a construirlos antes de iniciar los trabajos de naturación.

8.1.2. Requerimientos previos en edificaciones nuevas

En edificaciones nuevas se debe incluir el peso de la naturación en estado saturado para el cálculo y diseño estructural de las mismas como se explica en el capítulo 8.2.

La cubierta a naturar deberá tener una pendiente mínima de 2%. También deberá contar con pretilas de por lo menos 20 cm y chaflanes a 45° de por lo menos 8 cm de altura en puntos de encuentro con elementos verticales. Las instalaciones que se encuentran en la cubierta deberán estar separadas de la misma por lo menos 40 cm o estar ubicadas a una altura por encima del sustrato para facilitar la colocación del impermeabilizante.

Por su parte los equipos que se encuentren sobre la cubierta de la edificación tales como tinacos, tanques de gas, etc. deberán colocarse en bases a una altura de por lo menos 15 cm sobre el nivel del sustrato.

Los desagües y bajadas de agua deberán ser dimensionados y calculados según lo establecido en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias, de modo que se asegure su capacidad para desalojar la totalidad del agua producto de las precipitaciones pluviales sobre la cubierta.

En todos los casos la cubierta deberá contar con rebosaderos con una altura de 5 cm, por arriba del nivel de sustrato.

8.2. ESTÁTICA Y SEGURIDAD ESTRUCTURAL

Para la construcción de un sistema de naturación, la carga máxima permitida en un elemento constructivo será aquella determinada en el cálculo estructural de la edificación de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

En estructuras o edificaciones existentes no se podrá sobrepasar la carga máxima permitida, según se estipule en el cálculo estructural del elemento constructivo que se pretenda naturar.

En estructuras o edificaciones nuevas, se deberá incluir la carga adicional del sistema de naturación en estado saturado para la realización del cálculo estructural de la edificación de acuerdo con lo indicado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

Deberá considerarse el peso propio de una naturación en estado saturado considerándolo como una carga muerta con los valores que se muestran en la siguiente tabla:

| Tipo de naturación | Extensiva | Semi-intensiva | Intensiva |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Carga adicional | 110 -140 kg/m ² | 250 kg/m ² | >250 kg/m ² |

Además deberán considerarse las cargas de uso cuando el elemento naturado sea transitable así como las cargas vivas, muertas, transitorias y accidentales de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

8.3. PARÁMETROS PARA CADA TIPO DE NATURACIÓN

Una cubierta naturada deberá ajustarse a alguno de los parámetros siguientes según el tipo de naturación que se desee construir (extensiva, semi-intensiva o intensiva).

| Tipo de naturación | Extensivo | Semi-intensivo | Intensivo |
|----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|
| Altura de crecimiento de plantas | 5 -50 cm | 5 - 100 cm | 5 -400 cm |
| Diámetro de copa | No aplica | No aplica | 300 cm máximo |
| Substrato | 10 - 15 cm | 15 -30 cm | > 40 cm |
| Carga adicional | 110 - 140 kg/m ² | 250 kg/ m ² | > 250 kg/ m ² |
| Cobertura vegetal | Crasuláceas | Crasuláceas, pastos y arbustos | Crasuláceas, pastos, arbustos y árboles |

Nota: Por ningún motivo se podrá rebasar la carga máxima admisible obtenida en el cálculo estructural o en la evaluación estructural de una edificación para un elemento determinado que se desee naturar. Además los cálculos estructurales y/o las evaluaciones de la capacidad de carga estructural deberán realizarse de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias.

Para la ubicación de árboles deberán considerarse las medidas de seguridad respectivas (ver sección 8.15).

8.4. COMPONENTES BÁSICOS DE UNA CUBIERTA NATURADA

Una cubierta naturada está constituida por los siguientes componentes básicos (figura 1), los cuales se enlistan en el orden del proceso constructivo.

- Soporte estructural (puede servir de soporte base y de elemento que forma la pendiente)
- Soporte base (suele ser el elemento que forma la pendiente y puede ser el soporte estructural)
- Desagües
- Membrana impermeabilizante anti-raíz
- Capa drenante
- Capa filtrante
- Capa de substrato
- Capa de vegetación

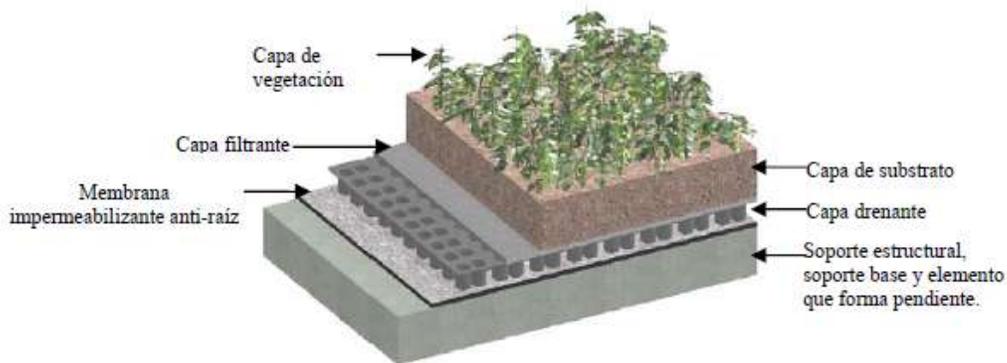


Figura 1. Componentes básicos de una cubierta naturalizada

8.5. SOPORTE BASE

En ocasiones este elemento puede coincidir con el soporte estructural y es el que recibe la impermeabilización anti-raíz.

8.5.1. Materiales del soporte base.

Para la construcción del soporte base se pueden utilizar los siguientes materiales:

- Arcilla expandida
- Concreto armado
- Concreto celular (hormigón celular)
- Elementos prefabricados de concreto armado
- Mortero de partículas ligeras
- Mortero de cemento
- Placas aislantes térmicas
- Madera
- Láminas y cubiertas prefabricadas

Respecto a los procedimientos constructivos y las características de los materiales deberá seguirse lo previsto por el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente, sus Normas Técnicas Complementarias, las Normas Mexicanas, Normas Oficiales Mexicanas y demás normatividad aplicable.

8.5.2. Pendientes requeridas

El soporte base de las cubiertas naturalizadas deberá tener una pendiente mínima del 2%. Para el caso de cubiertas inclinadas, con pendiente superior al 36% (20° aproximadamente) y menor al 58% (30° aproximadamente), se deberán implementar las protecciones adecuadas contra deslizamientos; las cuales serán seleccionadas por el encargado responsable del proyecto y el encargado responsable de la construcción de la siguiente lista:

- Láminas con receptáculos
- Mallas tridimensionales
- Tableros o vigas dispuestos perpendicularmente a la pendiente
- Tirantes dispuestos horizontalmente entre la capa de sustrato
- Para cubiertas inclinadas con una pendiente mayor al 58% deberán tomarse las medidas complementarias que resulten pertinentes para garantizar la estabilidad de los materiales tales como el anclado de las protecciones y el análisis estático.

En cubiertas con pendientes superiores al 5% es recomendable el uso de sustratos monocapa (ver sección 9.) y en cubiertas con pendiente mayor al 10% es obligatorio para evitar los deslizamientos.

| Tabla de equivalencia para pendientes de porcentajes a grados | | | |
|---|--------|-----|--------|
| 2% | 1.15° | 50% | 26.57° |
| 5% | 2.86° | 55% | 28.81° |
| 10% | 5.71° | 60% | 30.96° |
| 15% | 8.53° | 65% | 33.02° |
| 20% | 11.31° | 70% | 34.99° |
| 25% | 14.04° | 75% | 36.87° |
| 30% | 16.70° | 80% | 38.66° |
| 35% | 19.29° | 85% | 40.36° |
| 40% | 21.80° | 90% | 41.99° |
| 45% | 24.23° | 95% | 43.53° |

8.6. DISPOSITIVOS PARA DESAGÜE

El desalojo de las aguas de cubiertas naturadas se logra a través de la capa drenante, la pendiente, los sumideros y las bajadas de agua o desagües; estos elementos deberán evacuar la totalidad del agua excedente de la cubierta evitando su acumulación sobre la misma.

Los sumideros deberán contar con un dispositivo (rejilla, rejilla tipo domo, alcachofa, etc.) que permita retener los elementos sólidos que puedan obturar las bajadas de agua y deberán estar ubicados en un punto visible y de fácil acceso para realizar inspecciones y mantenimientos que garanticen su adecuado funcionamiento.

Los rebosaderos son dispositivos para el desagüe que deberán considerarse como medidas de seguridad indispensables por lo que forman parte de los requerimientos previos. (Ver secciones 8.1.1 y 8.1.2.)

8.7. MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE ANTI-RAÍZ

Las membranas impermeabilizantes anti-raíz para sistemas de naturación deberán cumplir con las siguientes condiciones particulares:

- Estabilidad dimensional.
- Migración de plastificantes menor al 1% en volumen.
- Resistencia a la perforación por raíces.
- Resistencia a la tensión y tracción de los movimientos estructurales.
- Resistencia a microorganismos.
- Resistencia al choque térmico y variaciones de temperatura ambiental.
- Resistencia al punzonamiento.

Las membranas impermeabilizantes anti-raíz deberán cubrirse con una capa de protección contra los rayos ultravioleta en los puntos que queden expuestos a la intemperie.

Estas condiciones deberán cumplirse en toda la superficie de la cubierta, aun cuando no se tenga previsto colocar vegetación en la totalidad, incluyendo las áreas de solapamiento, uniones, entregas a los elementos singulares (bases de equipos o instalaciones, salientes, faldones, etc.).

La propiedad anti-raíces de la membrana impermeable deberá estar certificada por un organismo competente y reconocido, ya que las emulsiones o fieltros con supuestas propiedades anti-raíces no son adecuadas para este tipo de sistemas.

En caso de utilizar un impermeabilizante anti-raíz bituminoso, éste deberá contar con un espesor mínimo de 4 mm y un refuerzo de poliéster de al menos 180 g/m². Además la membrana seleccionada deberá contar con un acabado superior que la proteja e incremente su resistencia mecánica para transitar sobre ella.

Si se utilizan impermeabilizantes anti-raíz de PVC, Hypalon, Propileno-Etileno o similares, el espesor mínimo será de 1.2 mm y deberá asegurarse su resistencia al punzonamiento colocándolo entre dos capas antipunzonantes.

Antes de iniciar con la colocación de la membrana impermeabilizante anti-raíz se deberán preparar las juntas de dilatación, la entrega a paramentos, las penetraciones de tuberías y ductos, los desagües, etc. de modo que se garantice la estanquidad de la cubierta y la correcta evacuación del agua.

En los puntos de encuentro con elementos emergentes intermedios de la cubierta tales como muretes, petos, etc., estos deberán contar con un chaflán por ambos lados a 45° de mínimo 8 cm de altura. La membrana impermeabilizante anti-raíz se deberá colocar de manera que cubra 10 cm como mínimo por encima de la protección pesada de la cubierta o capa de sustrato. Asimismo, deberá tener un refuerzo con traslape de por lo menos 10cm sobre el chaflán y el remate de la impermeabilización deberá de realizarse como se muestra en las figuras 2 y 3.

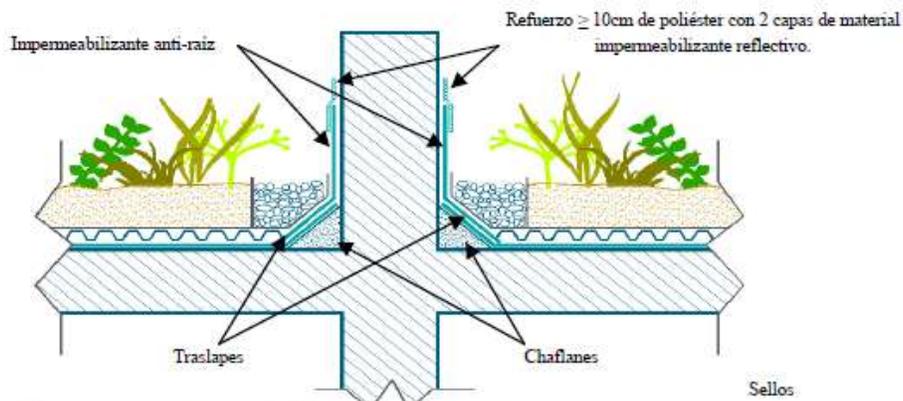
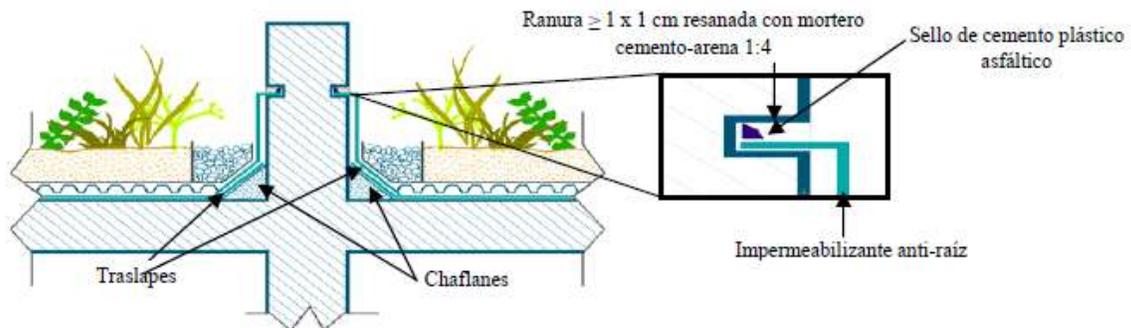


Figura 2. Impermeabilización con membrana prefabricada asfáltica en puntos de encuentro con elementos emergentes intermedios. (Los sellos deberán ser de materiales impermeables como el silicón o poliuretano)

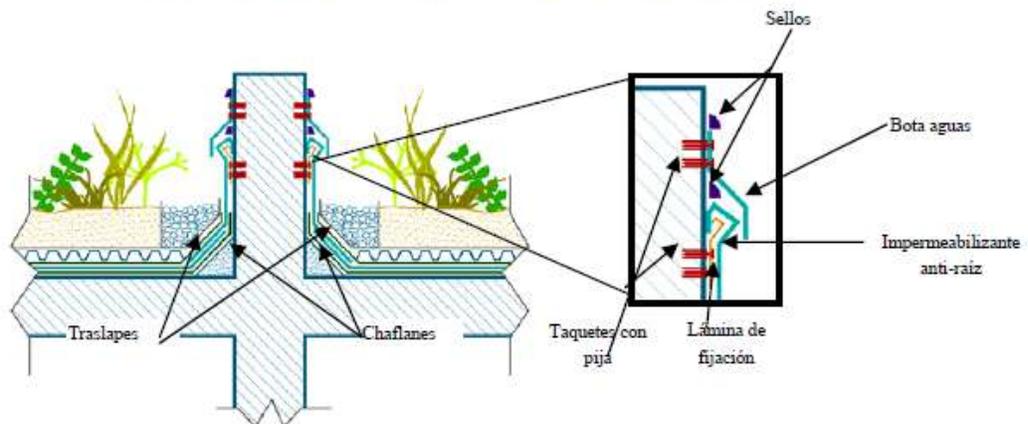


Figura 3. Impermeabilización con láminas de PVC, Hypalon, Propileno-etileno o similares en puntos de encuentro con elementos emergentes intermedios

En caso de que la membrana sobresalga menos de 10 cm por encima de la protección pesada de la cubierta o capa de sustrato, se deberá continuar con la impermeabilización cubriendo el elemento emergente intermedio y descendiendo del lado contrario. Ambos lados del elemento emergente deberán tener un chaflán a 45° de por lo menos 8 cm de altura y la membrana deberá tener un refuerzo con traslape de por lo menos 10cm sobre los chaflanes (ver figura 4).

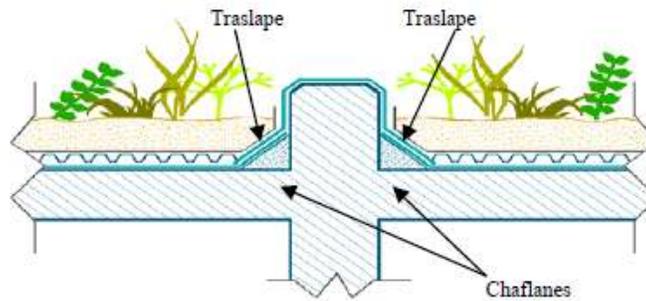


Figura 4. Impermeabilización en puntos de encuentro con elementos emergentes intermedios por debajo del nivel del sustrato o de altura menor a 10cm sobre el nivel del mismo.

En los puntos de encuentro con pretilas u otro tipo de elementos emergentes perimetrales, estos deberán contar con un chaflán a 45° de mínimo 8 cm de altura. La membrana impermeabilizante anti-raíz deberá tener un refuerzo con traslape de por lo menos 10cm sobre el chaflán y el remate de la impermeabilización deberá de realizarse como se muestra en las figuras 5 y 6.

Refuerzo ≥ 10 cm de poliéster con 2 capas de material impermeabilizante reflectivo.

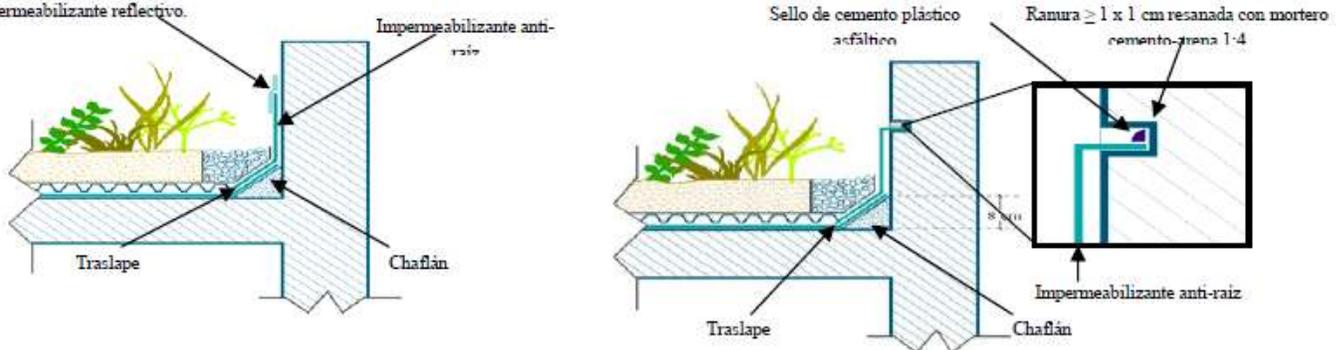


Figura 5. Impermeabilización con membrana prefabricada asfáltica en puntos de encuentro con pretilas y elementos emergentes perimetrales.

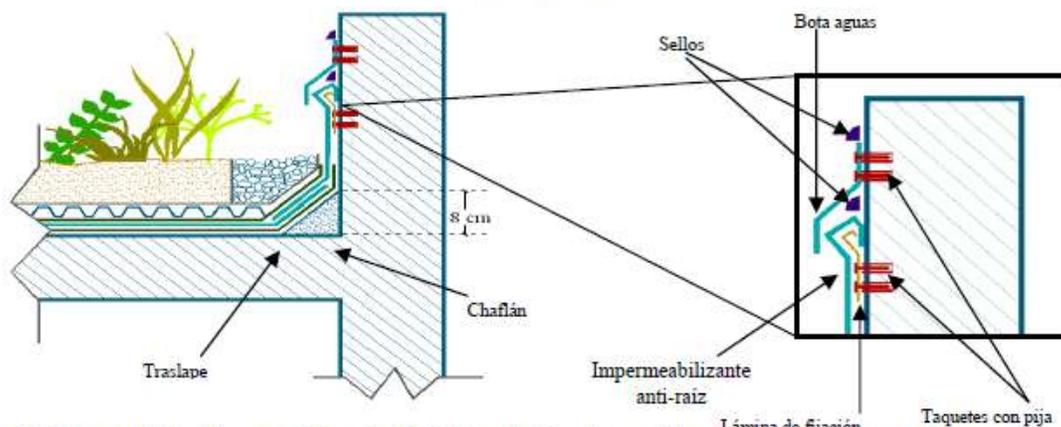
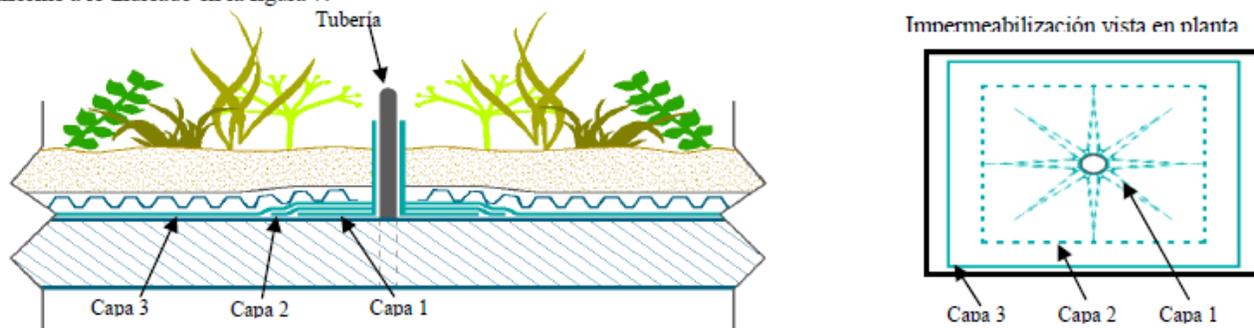


Figura 6. Impermeabilización con láminas de PVC, Hypalon, Propileno-etileno o similares en puntos de encuentro con pretilas y elementos emergentes perimetrales

El tratamiento en puntos de encuentro con tubos y conductos que penetren desde la cubierta hacia el interior de la edificación deberá ser conforme a lo indicado en la figura 7.



- Capa 1: se debe cortar en forma de estrella cuidando que no se desprendan las pestañas sobrantes; estas pestañas se pegan al tubo de modo que lo forren y la estrella queda unida directamente sobre la losa (ver la vista en planta).
- Capa 2: Se corta un cuadro de impermeabilizante anti-raíz de dimensiones suficientes para cubrir la capa 1, se le hace el corte necesario para que pase el tubo y se une a la losa cubriendo la capa 1.
- Capa 3: Es la capa de impermeabilizante anti-raíz que cubre toda la superficie de la cubierta y se debe colocar de modo que rodee la tubería lo más pegado posible y cubra las capas 1 y 2.

Figura 7 impermeabilización y refuerzos en puntos de encuentro con tubos y conductos que penetren desde la cubierta hacia el interior de la edificación.

Nota: todas las capas deberán ser del mismo tipo de impermeabilizante anti-raíz.

En los puntos de encuentro con bajadas de agua, la membrana impermeabilizante anti-raíz deberá contar con un refuerzo como se muestra en la figura 8. Tanto el refuerzo como el impermeabilizante deberán cortarse en forma de estrella en todo el diámetro de la sección circular de la bajada de agua y las pestañas se unirán a la losa. Las pestañas deberán quedar de forma que se complementen y cubran la totalidad de la sección circular del desnivel de la bajada de agua.

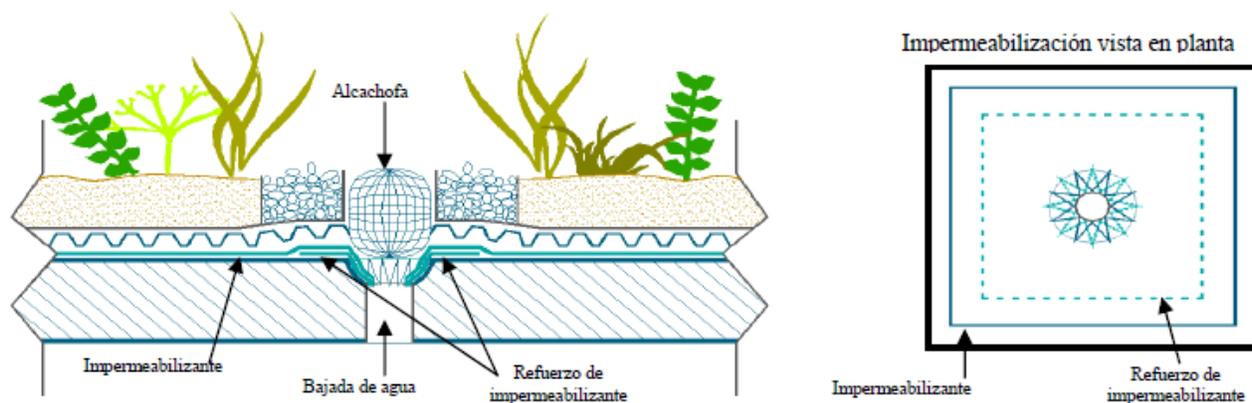


Figura 8. Impermeabilización y refuerzo en puntos de encuentro con bajadas de agua.

La colocación del impermeabilizante anti-raíz deberá ser continua en toda la superficie, incluidas las áreas bajo equipos existentes.

Para revisar especificaciones sobre procedimientos constructivos con diferentes materiales para la impermeabilización ver ANEXO I y ANEXO II.

8.7.1. Proceso de verificación de estanquidad de la membrana impermeabilizante anti-raíz

Antes de seguir con la instalación de las demás capas de una naturaleza para cubiertas se deberán seguir los siguientes procesos para garantizar la estanquidad de la membrana impermeabilizante anti-raíz. Estos procesos deberán realizarse con las precauciones pertinentes para evitar el desgarre o cualquier tipo de lesión en la membrana, los pasos a seguir son:

- Limpieza de la superficie.
- Examen visual para verificar el correcto sellado de los traslapes y uniones con los pretilas y elementos singulares de la cubierta.
- Prueba de estanquidad con agua: se realiza taponando totalmente los desagües de la cubierta y aplicando una columna de agua de 10 cm de altura la cual se dejará durante 48 horas.

Cualquier defecto observado deberá comunicarse por escrito al responsable de la instalación para que realice las medidas correctivas pertinentes.

En caso de no realizarse la prueba de estanquidad el encargado responsable de la construcción del sistema, lo dejara asentado en la bitácora de la obra e informara por escrito a la persona responsable de la recepción del trabajo.

8.7.2. Protección pesada de la membrana impermeabilizante anti-raíz

La protección pesada de la membrana impermeabilizante anti-raíz está constituida por un elemento puesto en obra tal como el substrato, la grava, baldosas o losas, y debe ser estable y resistente a la humedad, la intemperie y los esfuerzos mecánicos.

En las zonas perimetrales, caminos de circulación y encuentros con elementos verticales es necesario utilizar gravas, baldosas o losas como protecciones pesadas.

Protección pesada con substrato: Se construye colocando sobre la membrana impermeabilizante anti-raíz una capa drenante con las características descritas en el apartado 8.8. sobre la cual se coloca una capa filtrante (descrita en el apartado 8.9.) la cual recibirá a la capa de substrato (ver apartado 8.10.) y finalmente, colocando la capa de vegetación.

Protección pesada con grava: Se utiliza en zonas sin vegetación cuya pendiente sea menor al 5% y la grava empleada deberá ser de canto rodado, cibrada o azul lavada además deberá estar limpia y libre de sustancias extrañas. El tamaño mínimo de la grava debe ser de 12 mm y deberá formar una capa de 5 cm de espesor mínimo.

Protección pesada con baldosas o con losas: Se utilizan en zonas sin vegetación y deben colocarse sueltas o recibidas con mortero de cemento sobre una capa complementaria extendida sobre la membrana impermeabilizante anti-raíz.

Cuando se utilicen losas colocadas sobre soportes que puedan dañar la membrana impermeabilizante anti-raíz, se colocará una capa de protección antipunzonante entre los soportes y la membrana. La colocación de losas deberá permitir en todos los casos el libre paso del agua.

8.8. CAPA DRENANTE (MATERIALES Y CARACTERÍSTICAS)

La capa drenante se coloca entre la membrana impermeabilizante anti-raíz y la capa filtrante, su función es recibir las precipitaciones excedentes en toda la superficie y conducir las hacia los desagües de la cubierta; además funciona como protección mecánica de la cubierta. Esta capa sirve también como espacio útil para las raíces y puede servir para almacenar agua.

La capa drenante debe seleccionarse de tal manera que pueda desalojar al menos una pluviometría de 2 l/min x m² de intensidad (300 l/s x ha), para ello se consideraran el tipo de sistema de naturación, la superficie total que cubren los desagües, la pendiente de la cubierta y la pluviometría de la zona.

En los sistemas de naturación desprovistos de capa drenante, la capa de substrato deberá ser suficientemente permeable al agua y la cubierta deberá tener la inclinación suficiente para permitir el drenado del agua excedente.

Materiales y características para la capa drenante

Para la conformación de la capa drenante se deberá emplear alguno de los siguientes elementos:

- Láminas de fibras sintéticas, polipropileno.
- Mallas plásticas con lámina filtrante.
- Placas drenantes de fibras textiles recicladas.
- Placas drenantes de polietileno.
- Placas drenantes de poliestireno.

O cualquier otro que demuestre cumplir con las características descritas en este apartado.

Para la capa drenante se utilizarán materiales con las características siguientes:

- Con estructura duradera y estable.
- Estabilidad de forma y función.
- Lo más ligeros posible.
- Inocuo para la vegetación (contenido en sales y en carbonatos solubles).
- Química y físicamente estables.

8.9. CAPA FILTRANTE

En los sistemas de naturación para cubiertas que cuenten con capa drenante, se deberá colocar una capa filtrante entre el dren y el sustrato para evitar el paso de las partículas finas de este; las cuales podrían tapar la capa drenante.

Esta capa debe colocarse sobre la superficie total de la capa drenante con un traslape mínimo de 15 cm. La capa filtrante, para efectos de conformación de las distintas áreas, deberá sobresalir mínimo 10 cm por encima de la superficie del sustrato o banda lateral en el borde de la cubierta y en su encuentro con elementos emergentes. Una vez concluidos los trabajos de plantación, deberá recortarse la capa filtrante al nivel del sustrato.

Características de la capa filtrante

- Compatible con los materiales con que esté en contacto.
- Con permeabilidad al agua 10 veces superior a la del sustrato.
- De estructura duradera y estable.
- Imputrescible.
- Permisible al crecimiento de raíces.
- Resistente a la tensión y compresión.
- Resistente a la intemperie.
- Resistente a microorganismos.
- Resistente a pH elevados.

La capa filtrante deberá ser siempre permeable en ambos sentidos, permitiendo el paso de agua al menos en 2 l/min m² y tener un peso mínimo de 200 g/m². En los desagües se debe utilizar una capa de menor peso, pero no inferior a los 120 g/m².

8.10. CAPA DE SUBSTRATO

La capa de sustrato de los sistemas de naturación tiene como función servir de soporte físico a la capa de vegetación, suministrándole los nutrientes, el agua y el oxígeno necesarios. Además es en donde se desarrollan las raíces de la planta.

El espesor de esta capa está directamente relacionado con las necesidades del volumen radicular de las especies seleccionadas y con las condiciones microclimáticas de la zona, particularmente con la demanda de evapotranspiración, y debe ser de 10 cm como mínimo (excepto para el caso de naturación ligera para cubiertas).

8.10.1 Tipos de sistemas de sustrato.

Se pueden distinguir dos tipos de sistemas de sustrato para la naturación que son:

- Sistema monocapa: Formado por una capa de sustrato capaz de realizar las funciones de drenado.
- Sistema bicapa: Formado por una capa de sustrato y una capa drenante.

Para el caso de los sistemas monocapa (naturación de superficies con fuerte inclinación), se consideraran dos zonas, mismas que estarán constituidas de la siguiente forma:

- Zona superior: 1 parte de partículas para drenaje (arcilla expandida, lava expandida, piedra pómez, etc.) por 2 partes de materia orgánica o la mezcla seleccionada para proporcionar el sustento y los nutrientes a la capa de vegetación.
- Zona inferior: 2 partes de partículas para drenaje por 1 parte de materia orgánica o la mezcla seleccionada para proporcionar el sustento y los nutrientes a la capa de vegetación.

8.10.2. Materiales y características para la capa de sustrato

Los materiales adecuados para la conformación de la capa de sustrato son:

- Mezcla de partículas minerales con o sin materia orgánica.
- Partículas minerales de estructura porosa (piedra volcánica, piedra pómez, arcilla expandida, etc.).

- Placas de tejidos industriales (lana de roca mineral).

Para mejorar alguna característica de la mezcla de sustrato, se pueden utilizar los siguientes materiales adicionales:

- Acolchados de materia orgánica.
- Fertilizantes orgánicos y minerales de liberación lenta.
- Partículas minerales porosas de alta estabilidad.
- Productos fijadores y retenedores de agua.

La capa de sustrato deberá proporcionar a la planta el soporte y los nutrientes necesarios, según el sistema y la vegetación seleccionados, considerando para ello las siguientes características de los elementos de la mezcla:

- Alcalinidad.
- Capacidad de intercambio catiónico.
- Contenido de material mineral.
- Contenido en materia orgánica de origen natural.
- Combustibilidad.
- Capacidad de compactación.
- Contenido de caliza activa.
- Capacidad de rehumectación adecuada (en relación a las necesidades de la vegetación).
- Capacidad de retención de agua adecuada (en relación a las necesidades de la vegetación).
- Estabilidad de sus propiedades.
- Homogeneidad.
- Salinidad.
- Libre de fitotoxicidad residual.
- Libre de patógenos vegetales.

Además, la capa de sustrato deberá ser lo más ligera posible siempre que garantice la satisfacción de las necesidades de la vegetación. La descomposición biológica y compactación de la capa de sustrato deberán ser mínimas por lo que deberá estar constituida en su mayoría de componentes inorgánicos. Los componentes minerales de la capa de sustrato no deberán dispersarse y deberán conservar su estructura.

En los sistemas extensivos la mezcla de sustrato deberá estar conformada por lo menos en un 70% por material poroso con un diámetro preponderante de 3.2 mm; en los sistemas intensivos el material poroso deberá constituir mínimamente el 50% de la mezcla y en los semi-intensivos constituirá entre el 60% y el 90%.

Cuando la capa de sustrato se encuentre expuesta a vientos intensos, deberá protegerse contra la erosión hasta que quede cubierta totalmente por la vegetación.

Al término de los trabajos de colocación del sustrato, los residuos, producto de la limpieza del sitio, deberán ser depositados y manejados conforme a lo establecido en las normas vigentes.

8.11. CAPA DE VEGETACIÓN

En los sistemas de naturación extensiva, es necesario plantar una variedad de plantas que requieran poco mantenimiento, que puedan adaptarse a las condiciones extremas del lugar de plantación y que permitan obtener una cobertura de vegetación rápida y duradera. Las condiciones generales que deberá soportar la vegetación en este sistema son:

- Alta radiación solar (cuando la vegetación este dispuesta horizontalmente u orientada hacia el sol).
- Escaso volumen de suelo (predominantemente mineral).
- Largos periodos de sequía.
- Temperaturas extremas.
- Condiciones de nulo mantenimiento.

Para que la capa de vegetación pueda soportar estas condiciones deberán usarse agrupaciones vegetales cuyas condiciones se asemejen a las anteriormente descritas y que se encuentren adaptadas a las condiciones físicas y climáticas de la zona.

8.11.1. Características de la capa de vegetación

La vegetación utilizada en la naturación extensiva deberá tener sistemas radicales de poca profundidad, con buena capacidad de regeneración y con una altura de crecimiento menor a 50 cm. Las especies vegetales deberán cumplir con el máximo posible de los requerimientos siguientes:

- Con un desarrollo tapizante rápido y duradero.
- Resistentes a la acción del viento.
- Resistentes a largos periodos de sequía.
- Resistentes a las temperaturas extremas de la zona.
- Resistentes a los niveles de contaminación de la zona urbana.
- Resistentes a radiaciones solares elevadas.

Con fines orientativos y no restrictivos se enlistan a continuación algunos grupos de vegetación que suelen adaptarse adecuadamente a estas condiciones:

- Césped y pastos silvestres.
- Plantas C-4.
- Plantas CAM "Crasulacean Acid Metabolism".
- Plantas Cespitosas.
- Plantas Herbáceas Perennifolias.
- Plantas Subarbustivas.
- Plantas Suculentas.
- Plantas Vivaces.

No se podrá usar una sola especie vegetal en este sistema, sino agrupaciones vegetales adaptadas a cada biotipo y a las condiciones particulares de cada edificación. Deberán considerarse diferentes agrupaciones de vegetación a fin de favorecer la viabilidad y la biodiversidad del sistema.

8.11.2. Capa de vegetación en naturaciones semi-intensivas

La vegetación apta para las naturaciones semi-intensivas incluye una gran variedad de especies y presenta características intermedias entre las naturaciones extensivas y las intensivas. En términos generales se puede decir que una naturación semi-intensiva puede incluir crasuláceas, pastos y arbustos dependiendo del nivel de cuidados que se pretenda dar a la vegetación. Sin embargo no es factible incluir árboles en este tipo de sistemas.

Dado que la elección de la vegetación en naturaciones semi-intensivas presenta características intermedias entre las naturaciones extensivas y las intensivas, no se tratarán de forma directa sino que se inferirá de los apartados 8.11.1. y 8.11.3.

8.11.3. Capa de vegetación en naturaciones intensivas

En las naturaciones de tipo intensivo se considera que es posible utilizar cualquier tipo de vegetación siempre y cuando no sea nociva para la salud humana o de reproducción restringida. Se pueden incluir plantas utilizadas en naturaciones extensivas así como plantas que requieran mantenimiento y cuidados constantes, por ejemplo plantas de ornato, pastos, arbustos, subarbustos y árboles entre otros. Se deberán respetar las dimensiones y características descritas en la sección 8.3.

Sin embargo se obtendrán mejores resultados en la naturación si la vegetación seleccionada cumple con las características siguientes:

- Con un desarrollo rápido.
- Resistentes a la acción del viento.
- Resistentes a las temperaturas extremas de la zona.
- Resistentes a los niveles de contaminación de la zona urbana.
- Resistentes a radiaciones solares elevadas.
- Adaptada al clima y microclima de la zona.

Una condicionante que deberá atenderse para escoger la vegetación que se utilizará en una naturación intensiva, es que la altura de crecimiento de la vegetación no podrá exceder los 400 cm y que en caso de que la vegetación seleccionada tienda a exceder la altura mencionada, se deberá controlar su crecimiento con podas periódicas.

8.12. SUMINISTRO Y PLANTACIÓN

Para el establecimiento de la capa de vegetación, se podrán utilizar algunos de los siguientes materiales vegetativos:

- Plántulas
- Propágulos vegetativos
- Semillas
- Tapices vegetales precultivados

- Plantas, arbustos y árboles

En caso de utilizar plántulas o propágulos vegetativos, deberá existir un equilibrio entre la parte aérea y la parte subterránea de las plantas suministradas. Éstas deberán ser sanas, para que no peligran el arraigo y su desarrollo futuro en las condiciones del sistema.

En caso de que el suministro de planta sea en envase, la extracción total deberá ser sin adherencias a las paredes del mismo. Toda planta suministrada deberá contar con un cepellón bien formado y consistente, no se deberán establecer plantas con la raíz desnuda y las plantas utilizadas deberán tener por lo menos un mes y medio de establecidas.

Asimismo deberán tenerse en cuenta las siguientes características de la vegetación a plantar:

- Planta visiblemente vigorosa.
- Follaje del color característico para la especie sin pigmentación artificial.
- Sistema radicular bien desarrollado, con un cepellón estabilizado y compacto.
- La raíz no deberá presentar daños o malformaciones.
- Las plantas deberán tener por lo menos 1.5 meses de desarrollo.
- La planta que presente daño en el sistema radicular o que venga con la raíz desnuda no podrá ser sujeto de plantación.

Las plantas deberán ser producidas en vivero y no obtenidas de áreas naturales. La empresa proveedora de la planta deberá cumplir con lo establecido por la Ley Federal de Sanidad Vegetal, la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la Ley Ambiental del D.F. y las disposiciones vigentes al respecto.

Una vez finalizada la plantación deberá realizarse un riego saturando la capacidad de riego del sustrato.

8.13. NATURACIÓN LIGERA PARA CUBIERTAS

Este tipo de naturación es especial para cubiertas ligeras con poca capacidad de carga como las utilizadas frecuentemente en naves industriales. Cuando una cubierta que se pretenda naturar tenga una capacidad de carga adicional baja (de entre 50 y 90 kg/m²) y no se puedan realizar trabajos de refuerzo estructural para aumentar la capacidad de carga, se deberá optar por este tipo de naturación de acuerdo al sistema constructivo siguiente:

- Los elementos constructivos de este tipo de naturaciones corresponden con los mencionados en la sección 8.4. Sin embargo la capa de sustrato tendrá la composición de un sustrato para naturación extensiva (ver sección 8.10) pero su espesor será de entre 5 y 10 cm.
- Por su parte la capa de vegetación, también deberá cumplir con las condiciones establecidas para una naturación extensiva (ver sección 8.11).
- Dadas las condiciones climáticas del Distrito Federal y la poca profundidad de la capa de sustrato, este tipo de sistemas requiere de riegos de apoyo durante la época de estiaje que garanticen la sobrevivencia de la vegetación. (ver sección 9.3).

8.14. CRITERIOS PARA LA NATURACIÓN DE CUBIERTAS QUE CUENTEN CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y/O FOTOTÉRMICOS

Cuando se desee naturar una cubierta que cuente con sistemas de captación solar fotovoltaicos o fototérmicos deberán atenderse las siguientes especificaciones:

- Las celdas de captación solar deberán colocarse de forma que queden por lo menos 20 cm por encima del nivel de sustrato o bien en zonas de la cubierta que no cuenten con vegetación.
- Los soportes para las celdas deberán ser impermeabilizados en los puntos de contacto con la losa o cubierta conforme a lo estipulado en la sección 8.7 considerándolos como elementos que penetran la cubierta (ver figura 7).
- La vegetación deberá colocarse a una distancia que garantice a largo plazo que no haya proyección de sombra sobre los paneles solares.

Nota: en caso de que la instalación de celdas solares exista previo a los trabajos de naturación, deberán realizarse las modificaciones necesarias para que se cumpla con las especificaciones mencionadas.

8.15. MEDIDAS PREVENTIVAS Y DE SEGURIDAD DURANTE LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS

Todos los trabajos realizados sobre la cubierta deberán cubrir las medidas de seguridad establecidas en la legislación, las normas y normas oficiales relativas a seguridad, protección civil, salud y demás disposiciones aplicables en materia de prevención de accidentes.

En presencia de lluvia o vientos intensos deberán suspenderse los trabajos y retirar o asegurar los materiales y herramientas que puedan representar un riesgo bajo dichas condiciones.

Los árboles de las cubiertas naturadas intensivas deberán colocarse con una separación respecto a la orilla de la cubierta de por lo menos el radio de la copa más 1 metro medido a partir del tronco. El radio de la copa del árbol deberá considerarse conforme al radio máximo alcanzable por la especie de árbol que se trate.

9. ESPECIFICACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de naturación y la máxima vida útil del mismo, una vez construido, se deben realizar trabajos de inspección y mantenimiento periódicos. Para la realización de dichos trabajos es recomendable establecer un plan y un calendario de trabajo que considere los siguientes rubros.

9.1. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Los trabajos de supervisión y mantenimiento de los elementos constructivos deberán realizarse por lo menos dos veces al año para los sistemas de naturación y en ellos se deberán llevar a cabo las operaciones siguientes:

- Revisión y limpieza de los sumideros, bajadas de aguas y/o desagües relacionados con el sistema de desalojo de agua de la naturación.
- Revisión de los elementos de albañilería relacionados con el sistema de desalojo de agua de la naturación.
- Revisión visual del estado del soporte estructural y los elementos portantes.
- Revisión visual de la no existencia de filtraciones de agua al interior de la edificación.

Estos trabajos deben programarse dos semanas antes de la época de lluvias para la primera visita y al finalizar la temporada de lluvias para la segunda visita.

La superficie naturada deberá ser accesible para la realización de estos trabajos y para permitir el traslado de materiales desde la superficie naturada y hacia la superficie naturada.

Si se encuentra alguna anomalía de los elementos mencionados se deberá proceder de inmediato a la aplicación de las medidas correctivas correspondientes que garanticen el correcto funcionamiento del sistema de naturación. Dichas medidas correctivas deberán ser realizadas por personal calificado y deberán cubrir las medidas de seguridad establecidas en la legislación, las normas y normas oficiales relativas a seguridad, protección civil, salud y demás disposiciones aplicables en materia de prevención de accidentes.

9.2. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE VEGETACIÓN

Se deberá supervisar la no aparición de plantas adventicias no deseadas especialmente durante los primeros meses posteriores a la construcción del sistema de naturación. En caso de encontrar este tipo de vegetación deberá ser eliminada manualmente.

Es preciso considerar que algunos tipos de vegetación que surgen en los sistemas de naturación de forma adventicia pueden ser deseables ya que incrementan la diversidad florística del sistema; en estos casos se conservará dicha vegetación.

Cuando la cobertura vegetal ha superado el 85% tras la fase de plantación, las visitas deberán ser dos veces al año como mínimo.

En caso de pérdida de vegetación deberán llevarse a cabo trabajos de replantación preferentemente al inicio de la temporada de lluvia.

Cuando la vegetación seleccionada para la naturación exceda el crecimiento deseado o el crecimiento permitido se llevarán a cabo trabajos de poda para controlar el crecimiento de la vegetación. Los restos de la poda pueden aportar a la repoblación de la naturación mejorando la germinación de las semillas y plantas.

9.3. RIEGO

Para la realización de los trabajos de riego se debe cuidar que el agua llegue suavemente a la superficie naturada en forma de lluvia fina o con un sistema de riego por goteo y/o micro aspersión que no exceda la capacidad de absorción del sustrato para evitar la escorrentía superficial del agua.

En inmuebles y/o complejos arquitectónicos que cuenten con sistemas de captación de agua pluvial, agua tratada o plantas de tratamiento de aguas; los riegos deberán realizarse con agua proveniente de estas.

Posterior a los trabajos de plantación será necesario un riego; la dosis de dicho riego variará en relación a las características de la capa de sustrato y de la época del año en que se realicen los trabajos.

La superficie que cuente con capa vegetal deberá regarse regularmente durante la época de estiaje (aproximadamente cada tercer día) hasta que se alcance una cobertura vegetal del 85% tras la fase de plantación.

En las naturaciones extensivas, una vez alcanzada la cobertura deseada se limitarán los riegos a dos veces por año durante la época de sequía salvo en ocasiones excepcionales en que la vegetación requiera un riego más intenso para su supervivencia.

En las naturaciones intensivas y semi-intensivas la frecuencia de los riegos, una vez que se alcance una cobertura vegetal del 85% tras la fase de plantación, se determinará en relación al tipo de sustrato y vegetación elegida.

En naturaciones ligeras para cubiertas se deberá contar con un sistema de riego por goteo o micro aspersión para efectuar los riegos de apoyo que sean necesarios para garantizar la supervivencia de la vegetación del sistema.

9.4. ABONADO Y ADICIÓN DE SUBSTRATO

Para la adecuada ejecución del abonado se deberán garantizar los niveles adecuados de fósforo, magnesio, potasio y microelementos de manera uniforme en toda la superficie del sustrato con capa de vegetación.

Es recomendable el uso de abonos de liberación lenta y para sistemas de naturación con una capa de sustrato poco profunda es necesario aplicar el abono en solución.

Una vez que se ha alcanzado una cobertura vegetal del 85%, los trabajos de abonado deberán anularse salvo en casos excepcionales en que la vegetación requiera mayores nutrientes en la capa de sustrato.

En términos generales los trabajos de adición de sustrato deberán ser nulos salvo en aquellas ocasiones en que la vegetación requiera una capa mayor de sustrato a la establecida inicialmente o cuando se pierda una porción considerable de la capa de sustrato por efectos de viento o precipitaciones pluviales muy intensas. Esta situación es muy poco probable una vez que se ha alcanzado una cobertura vegetal superior al 85% tras la fase de plantación. Queda estrictamente prohibido realizar adiciones de sustrato que rebasen las cargas consideradas para el análisis o cálculo estructural.

9.5. CONTROL DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Para los casos en que se requieran realizar trabajos de control de plagas y enfermedades en el sistema de naturación, deberá recurrirse a un técnico con licencia sanitaria de la Secretaría de Salud, para la aplicación de plaguicidas, conforme a lo estipulado en la Ley de Salud.

Cuando se lleven a cabo estos trabajos, deberán colocarse letreros con la leyenda: "ÁREA VERDE EN TRATAMIENTO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES" en las zonas en que se estén aplicando los agroquímicos, y se acordonarán las mismas con cinta plástica de color amarillo y letras negras con la leyenda "PRECAUCIÓN".

10. BIBLIOGRAFÍA

- ASTM, (2005), E 2396 - 05 Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media [Falling-Head Method] for Green Roof Systems, ASTM INTERNATIONAL, United States
- ASTM, (2005), E 2397 - 05 Standard Practice for Determination of Dead Loads and Live Loads associated with Green Roof Systems, ASTM INTERNATIONAL, United States
- ASTM, (2005), E 2398 - 05 Standard Test Method for Water Capture and Media Retention of Geocomposite Drain Layers for Green Roof Systems, ASTM INTERNATIONAL, United States
- ASTM, (2005), E 2399 - 05 Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Green Roof Systems, ASTM INTERNATIONAL, United States
- ASTM, (2006), E 2400 - 06 Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems, ASTM INTERNATIONAL, United States
- Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Cataluña, (1999), Cubiertas Ecológicas - Norma Tecnológica de Jardinería y Paisajismo NTJ 11E, Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Agrícolas de Cataluña, España.
- FLL- Dachbegruenungsrichtlinie 2002, Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
- Gobierno del Distrito Federal, (29 de enero de 2004), GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL, Décima cuarta época, No. 8-TER, (REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL), Corporación Mexicana de Impresión, S.A. de C.V., México D.F.
- Gobierno del Distrito Federal, (6 de octubre de 2004), GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL, Tomo I, No. 103-BIS, (NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL), Corporación Mexicana de Impresión, S.A. de C.V., México D.F.

- Gobierno del Distrito Federal, (6 de octubre de 2004), GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL, Tomo II No. 103-BIS, (NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS DEL REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL), Corporación Mexicana de Impresión, S.A. de C.V., México D.F.
- Minke, Gemot, (2004), Techos verdes – Planificación, ejecución, consejos prácticos, Fin de Siglo, Uruguay.
- Sociedad Española de Ciencias Forestales, (2005), Diccionario forestal, Ediciones mundi-Prensa, España.
- Velazquez, Linda, S. (2005), Organic Greenroof Architecture: Design Considerations and System Components, Wiley Periodicals, Inc. Environmental Quality Management.
- Velazquez, Linda, S. (2005), Organic Greenroof Architecture: Sustainable Design for the New Millennium, Wiley Periodicals, Inc. Environmental Quality Management.
- Verdir.2004. "Green Roof Products & Living Wall Systems" <http://www.verdirsystems.com/html/living-walls.html>

11. NORMATIVIDAD RELACIONADA

Todos los trabajos de diseño, construcción y mantenimiento de los sistemas de naturación deberá cumplir con las condiciones establecidas en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal; Normas Técnicas Complementarias al Reglamento de construcciones del Distrito Federal; Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo; Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal; Reglamento de la Ley de Protección Civil para el Distrito Federal; y demás normatividad vigente aplicable en el Distrito Federal.

12. OBSERVANCIA

Corresponderá a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, a través de la Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental, verificar el cumplimiento de la presente Norma. Para tal efecto, en el ejercicio de sus facultades, la Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental podrá coordinarse, en lo conducente y de ser el caso, con las demás autoridades competentes en la materia.

Las personas que instalen sistemas de naturación en el Distrito Federal, deberán conservar, disponibles en todo momento para verificación de la Secretaría del Medio Ambiente, la descripción del proyecto; memoria de cálculo y diseño, manuales de operación y mantenimiento, y demás especificaciones técnicas del sistema de naturación respectivo, mientras el sistema de naturación se encuentre en funcionamiento.

La Secretaría establecerá los lineamientos y/o procedimientos administrativos para autorizar la instalación y/o construcción de sistemas de naturación en el Distrito Federal, atendiendo a los requerimientos mínimos de calidad y seguridad establecidos en la presente norma.

13. VIGENCIA

Esta norma entrará en vigor al día siguiente de su publicación en la Gaceta Oficial del Distrito Federal.

Dado en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los 8 días del mes de diciembre del año dos mil ocho.

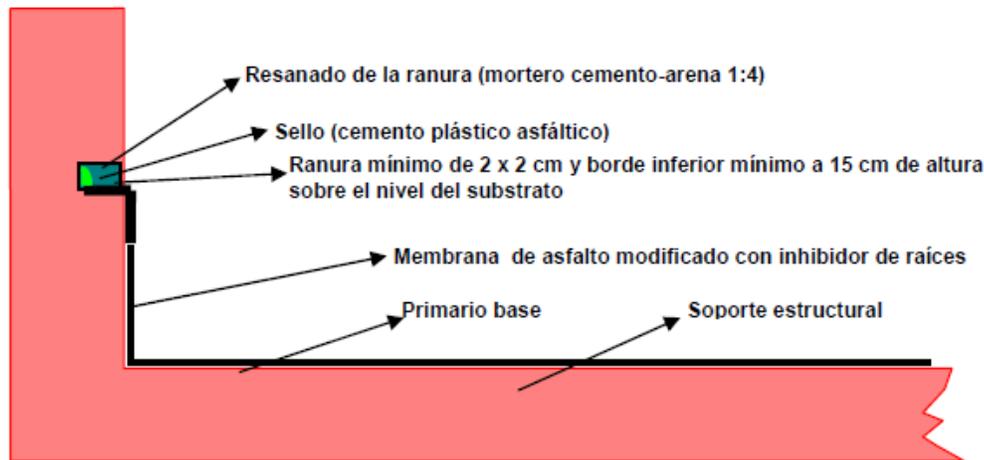
LA SECRETARIA DEL MEDIO AMBIENTE
(Firma)
LIC. MARTHA TERESA DELGADO PERALTA

ANEXO I

COLOCACIÓN DE MEMBRANAS IMPERMEABILIZANTES ANTI-RAÍZ DE BASE ASFÁLTICA

- a) Deberá llevarse a cabo una limpieza general del sitio.
- b) Antes de aplicar el impermeabilizante anti-raíz, en todos los casos es necesario aplicar un primario asfáltico en toda la superficie, incluyendo el canto perimetral de la losa. El primario de base solvente se requiere para eliminar el polvo y sellar la porosidad de la superficie. Se requiere un periodo de secado mínimo de 24 horas.
- c) Para la colocación de la membrana impermeabilizante anti-raíz deberá utilizarse gas butano empleando sopletes especiales, para este tipo de material.
- d) La colocación de los lienzos debe realizarse en forma paralela al borde del techo, desde la parte más baja hacia la parte central del techo (principio de teja), respetando la pendiente de la superficie y el escurrimiento natural del agua.
- e) Para mejorar la adherencia del material y adecuar la colocación del impermeabilizante anti-raíz a la forma del techo se deberán sobreponer los rollos, y aplicar fuego al desenrollarlos, posteriormente es necesario regresar a efectuar el sellado del traslape.
- f) La aparición de un hilo negro de aproximadamente un centímetro será un indicador de que el traslape ha sido efectuado correctamente, simultáneamente se colocará la hojuela sobre el traslape.

- g) El impermeabilizante anti-raíz deberá cubrir en su canto horizontal al pretil si éste es menor a 25 cm de altura, en caso contrario, deberá realizarse una ranura de 2 x 2 cm a una altura de 15 cm sobre el nivel estimado del substrato. En dicha ranura se rematará el faldón contra esfuerzos de tensión y será resanado con mortero de cemento-arena 1:4.

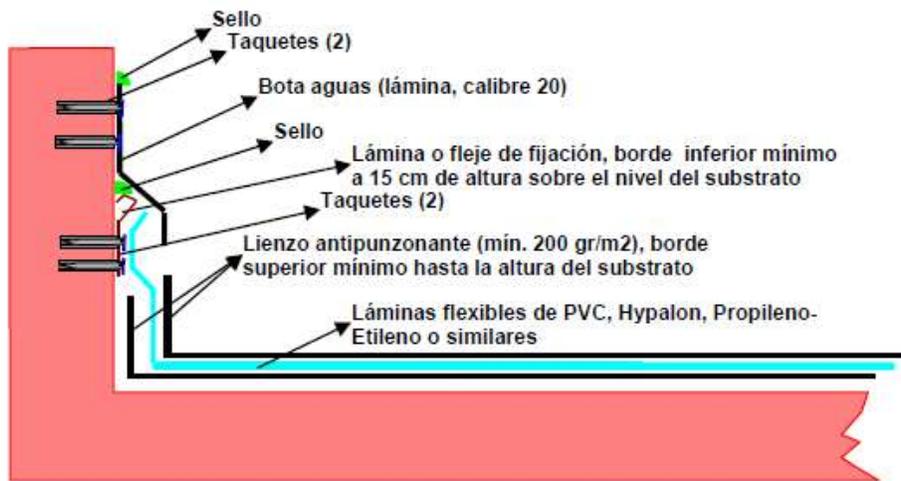


Esquema de fijación de membrana asfáltica a pretil, muretes y similares

Nota: No ranurar elementos estructurales

ANEXO II. COLOCACIÓN DE MEMBRANAS IMPERMEABILIZANTES ANTI-RAÍZ A BASE DE PVC, HYPALON, PROPILENO-ETILENO O SIMILARES

- a) Deberá llevarse a cabo una limpieza general del sitio.
- b) Colocar una capa de protección antipunzonante
- c) Se colocarán flejes de fijación en el perímetro del pretil y elementos singulares (ver esquema), a una altura mínima de 15 cm sobre el nivel estimado del substrato.
- d) Se deberá colocar otro fleje de fijación sobre la superficie horizontal a fin de anular esfuerzos de tensión.
- e) Colocar las láminas de impermeabilizante anti-raíz y unir las por termofusión al fleje de fijación sobre la superficie horizontal. Los traslapes entre láminas de impermeabilizante anti-raíz deberán ser sellados con PVC líquido.
- f) Unir por medio de un faldón el fleje de fijación del pretil o de elementos singulares a la lámina fijada en forma horizontal.
- g) Se deberá sellar el espacio entre el fleje de fijación y el pretil con un material flexible de un mínimo de 200 % de elongación.
- h) Se deberá colocar una capa de protección antipunzonante con la finalidad de proteger las láminas de impermeabilizante anti-raíz durante la instalación del resto del sistema de naturación.
- i) Se debe colocar un bota aguas para prolongar la vida útil del impermeabilizante anti-raíz.



Esquema de fijación de láminas de PVC, Hypalon, Propileno-Etileno o similares a pretilas, muretes y similares

Nota: No ranurar elementos estructurales

ANEXOS 2. Análisis de costos de una azotea verde en la población de Ixtapa-Zihuatanejo.

Lista de materiales.

| Lista de precio de materiales | | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------|--------------|--------------------|
| Descripción | Unidad | Precio | Cantidad | Importe |
| Agua | m3 | \$ 45.00 | 5 | \$ 225.00 |
| Relleno, material tipo B | m3 | \$ 110.00 | 4.41 | \$ 484.66 |
| Coladera de petril tipo Helmex | pza | \$ 135.00 | 1.00 | \$ 135.00 |
| Espuma de polietileno | m2 | \$ 14.45 | 46.00 | \$ 664.70 |
| Lamina de geotextil POLYF-EELT®-F | m2 | \$ 19.65 | 46.00 | \$ 903.90 |
| Impermeabilizante marca Comex | lt | \$ 37.00 | 14.25 | \$ 527.25 |
| Membrana DELTA® Drain | m2 | \$ 22.30 | 46 | \$ 1,025.80 |
| Membrana a base de PVC | m2 | \$ 26.30 | 46 | \$ 1,209.80 |
| Pasto en rollo | ml | \$ 15.00 | 36 | \$ 540.00 |
| Plantas de hortaliza | pza | \$ 25.00 | 10 | \$ 250.00 |
| Plantas de ornato | pza | \$ 30.00 | 10 | \$ 300.00 |
| Rodillo | pza | \$ 11.25 | 2 | \$ 22.50 |
| Reglas de madera | pza | \$ 8.00 | 2 | \$ 16.00 |
| Sellador | kg | \$ 65.00 | 3 | \$ 195.00 |
| Charola para pintura | pza | \$ 1.75 | 2 | \$ 3.50 |
| Costal | pza | \$ 1.00 | 3 | \$ 3.00 |
| | | | total | \$ 6,506.11 |

Catálogo de concepto.

| No. | CLAVE | DESCRIPCION | UNIDAD | CANTIDAD | P.U. | IMPORTE |
|-----|----------|---|--------|----------|-----------|-----------------------|
| 1 | az-v-001 | Coladera de petril tipo helmex, con rejilla cuadrada, una salida: incluye suministro e instalacion, mano de obra, equipo y herramienta. | pieza | 1 | \$ 175.63 | \$ 175.63 |
| 2 | az-v-002 | Impermeabilizante acrilico comex top 5 años, incluye: preparación de la superficie, suministro, mano de obra y herramienta. | m2 | 46 | \$ 50.63 | \$ 2,329.07 |
| 3 | az-v-003 | Espuma de polietileno de alta densidad, incluye: suministro e instalacion, traslape, mano de obra y herramienta. | m2 | 46 | \$ 67.16 | \$ 3,089.28 |
| 4 | az-v-004 | Membrana anti-raíz a base de PVC de 4 mm de espesor, incluye, suministro y colocación, traslapos, mano de obra y herramienta. | m2 | 46 | \$ 79.01 | \$ 3,634.38 |
| 5 | az-v-005 | Capa drenante tipo DELTA® Drain, incluye: suministro y colocación, traslapos, mano de obra y herramienta. | m2 | 46 | \$ 75.01 | \$ 3,450.38 |
| 6 | az-v-006 | Lamina de geotextil POLYF-EELT®-F, incluye: suministro e instalación, traslapos, | m2 | 46 | \$ 72.36 | \$ 3,328.48 |
| 7 | az-v-007 | Relleno con material conformado por lo menos en un 70% de material poroso con un diametro preponderante de 3.2 mm, incluye: suministro y colocación, adición de agua necesaria, mano de obra y herramienta. | m3 | 4.4 | \$ 48.71 | \$ 214.61 |
| 8 | az-v-008 | Pasto en rollo tipo alfombra, incluye: suministro y colocación, adición de agua necesaria, mano de obra y herramienta. | ml | 36 | \$ 56.41 | \$ 2,030.70 |
| 9 | az-v-009 | Plantas de ornato y hortaliza, incluye: suministro y colocación, adición de agua | pieza | 20 | \$ 49.41 | \$ 988.17 |
| 10 | az-v-010 | Limpieza general | m2 | 44 | \$ 3.02 | \$ 133.06 |
| | | | | | subtotal | \$ 677.34 \$19,373.77 |
| | | | | | iva | \$ 108.37 \$ 3,099.80 |
| | | | | | total | \$ 785.71 \$22,473.57 |

Desalojo de agua.

| | | | | |
|-------------------------------------|-----|--------|----------------|------------------|
| Coladera de petril tipo Helmex | | | U | pza |
| | | | CANTIDAD | 1 |
| | | | PU | \$ 175.63 |
| | | | IMPORTE | \$ 175.63 |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| coladera tipo Helmex | pza | 1 | \$ 110.00 | \$ 110.00 |
| | | | SUB MAT | \$ 110.00 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0938 | \$ 700.00 | \$ 65.63 |
| | | | SUB MO | \$ 65.63 |

Capa de impermeabilizante.

| | | | | |
|-------------------------------------|-----|--------|----------------|-----------------|
| Capa de impermeabilizante | | | U | m2 |
| | | | CANTIDAD | 44 |
| | | | PU | \$ 50.63 |
| | | | IMPORTE | \$ 2,227.81 |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| impermeabilizante | lt | 1 | \$ 37.00 | \$ 37.00 |
| rodillo | pza | 0.05 | \$ 11.25 | \$ 0.51 |
| charola | pza | 0.05 | \$ 1.75 | \$ 0.08 |
| agua | m3 | 0.0005 | \$ 45.00 | \$ 0.02 |
| | | | SUB MAT | \$ 37.61 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Peon | JOR | 0.0521 | \$ 250.00 | \$ 13.02 |
| | | | SUB MO | \$ 13.02 |

Aislante térmico.

| Aislante térmico | | U | m2 | |
|-------------------------------------|-----|----------|----------------|-----------------|
| | | CANTIDAD | 46 | |
| | | PU | \$ 67.16 | |
| | | IMPORTE | \$ 3,089.28 | |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Espuma de polietileno | m2 | 1 | \$ 14.45 | \$ 14.45 |
| sellador | kg | 0.25 | \$ 65.00 | \$ 16.25 |
| | | | SUB MAT | \$ 30.70 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0521 | \$ 700.00 | \$ 36.46 |
| | | | SUB MO | \$ 36.46 |

Membrana anti-raíz

| Membrana anti-ríz | | U | m2 | |
|-------------------------------------|-----|----------|----------------|-----------------|
| | | CANTIDAD | 46 | |
| | | PU | \$ 79.01 | |
| | | IMPORTE | \$ 3,634.38 | |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Membrana a base de PVC | m2 | 1 | \$ 26.30 | \$ 26.30 |
| sellador | kg | 0.25 | \$ 65.00 | \$ 16.25 |
| | | | SUB MAT | \$ 42.55 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0521 | \$ 700.00 | \$ 36.46 |
| | | | SUB MO | \$ 36.46 |

Capa drenante.

| Capa drenante | | | U | m2 |
|------------------------------|-----|--------|----------------|-----------------|
| | | | CANTIDAD | 46 |
| | | | PU | \$ 75.01 |
| | | | IMPORTE | \$ 3,450.38 |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Membrana DELTA® Drain | m2 | 1 | \$ 22.30 | \$ 22.30 |
| sellador | kg | 0.25 | \$ 65.00 | \$ 16.25 |
| | | | SUB MAT | \$ 38.55 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0521 | \$ 700.00 | \$ 36.46 |
| | | | SUB MO | \$ 36.46 |

Capa filtrante.

| Capa Filtrante | | | U | m2 |
|-----------------------------------|-----|--------|----------------|-----------------|
| | | | CANTIDAD | 46 |
| | | | PU | \$ 72.36 |
| | | | IMPORTE | \$ 3,328.48 |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Lamina de geotextil POLYF-EELT®-F | m2 | 1 | \$ 19.65 | \$ 19.65 |
| sellador | kg | 0.25 | \$ 65.00 | \$ 16.25 |
| | | | SUB MAT | \$ 35.90 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0521 | \$ 700.00 | \$ 36.46 |
| | | | SUB MO | \$ 36.46 |

Capa de substrato.

| SUBSTRATO | | | U | m2 |
|------------------------------|-----|--------|----------------|-----------------|
| | | | CANTIDAD | 46 |
| | | | PU | \$ 48.71 |
| | | | IMPORTE | \$ 2,240.58 |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Relleno, material tipo B | m3 | 0.1 | \$ 110.00 | \$ 11.00 |
| Agua | m3 | 0.01 | \$ 45.00 | \$ 0.45 |
| Regla | uso | 0.1 | \$ 8.00 | \$ 0.80 |
| | | | SUB MAT | \$ 12.25 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0521 | \$ 700.00 | \$ 36.46 |
| | | | SUB MO | \$ 36.46 |

Limpieza general.

| LIMPIEZA GENERAL | | | U | m2 |
|------------------------------|-----|-------|----------------|----------------|
| | | | CANTIDAD | 44 |
| | | | PU | \$ 3.02 |
| | | | IMPORTE | \$ 133.06 |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| COSTAL | PZA | 0.420 | \$ 1.00 | \$ 0.42 |
| | | | SUB MAT | \$ 0.42 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Peon | JOR | 0.010 | \$ 250.00 | \$ 2.60 |
| | | | SUB MO | \$ 2.60 |

Capa de vegetación.

| VEGETACION | | U | m2 | |
|-------------------------------------|-----|----------|----------------|-----------------|
| | | CANTIDAD | 46 | |
| | | PU | \$ 56.41 | |
| | | IMPORTE | \$ 2,594.78 | |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Pasto en rollo | ml | 1.3 | \$ 15.00 | \$ 19.50 |
| Agua | m3 | 0.01 | \$ 45.00 | \$ 0.45 |
| | | | SUB MAT | \$ 19.95 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0521 | \$ 700.00 | \$ 36.46 |
| | | | SUB MO | \$ 36.46 |

| VEGETACION 2 | | U | m2 | |
|-------------------------------------|-----|----------|----------------|-----------------|
| | | CANTIDAD | 46 | |
| | | PU | \$ 49.41 | |
| | | IMPORTE | \$ 2,272.78 | |
| ANALISIS DE TARJETA UNITARIA | | | | |
| MATERIALES | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| planta de ornato | pza | 0.23 | \$ 30.00 | \$ 6.82 |
| planta de hortaliza | pza | 0.23 | \$ 25.00 | \$ 5.68 |
| Agua | m3 | 0.01 | \$ 45.00 | \$ 0.45 |
| | | | SUB MAT | \$ 12.95 |
| MO | | | | |
| CONCEPTO | U | CAN | PU | IMP |
| Cuad alb+peon | JOR | 0.0521 | \$ 700.00 | \$ 36.46 |
| | | | SUB MO | \$ 36.46 |

ANEXOS 3 Diseño de una losa.

DISEÑO DE UNA LOSA.

El diseño esta en base a lo establecido en la NTC-RCDF-2004, es una losa perimetralmente apoyada como se muestra en la fig. 8.1, colada monolíticamente con los apoyos.

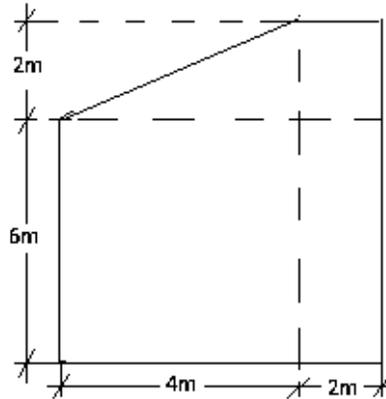


FIG. LOSA PERIMETRALMENTE APOYADA Y COLADA MONOLÍTICAMENTE CON APOYOS

Los materiales a utilizar y sus resistencias se muestran en la siguiente tabla.

TABLA. RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

| MATERIALES | | | |
|-------------|-----------|--------------|-----------|
| CONCRETO | | ACERO | |
| $f^*c= 160$ | kg/cm^2 | $f_y = 4200$ | kg/cm^2 |
| $f^c= 136$ | kg/cm^2 | $f_s = 2520$ | kg/cm^2 |
| $f^c= 200$ | kg/cm^2 | | |

Las cargas que soportara la losa se muestran en la siguiente tabla.

TABLA. ANÁLISIS DE CARGAS

| ANÁLISIS DE CARGAS | |
|------------------------------|------------------------|
| Espesor | 14 cm |
| Carga Muerta (Cm) | |
| Peso de la losa | 350 kg/cm ² |
| Losa con 5 % pendiente | 5 kg/cm ² |
| Naturacion semi-intensiva | 250 kg/cm ² |
| Incrementos | 115 kg/cm ² |
| Cm = 700 kg/cm ² | |
| Carga Viva Maxima (CvM) | |
| CvM= 800 kg/cm ² | |
| Carga Viva Media (Cvm) | |
| Cvm= 750 kg/cm ² | |
| Carga Viva Instantanea (Cvi) | |
| Cvi= 710 kg/cm ² | |

A continuación, la losa se toma como rectangular y se designan los valores de a^1 y a^2 , como se muestra en la siguiente imagen.

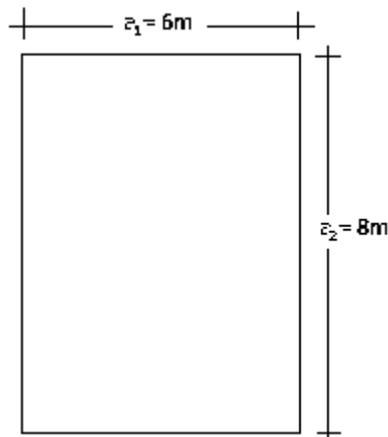


FIG. VALORES DE A1 Y A2

Una vez teniendo todos los datos para el análisis, se prosigue a obtener cada uno de los elementos.

- Para obtener la carga total, se utiliza la ecuación (7.1).

$$W = (CM + CVmed) \quad (\text{Ecuación: 7.1})$$

$$W = (700 + 750) = 1450 \text{ g/cm}^2$$

$$Wu = (700 + 750) * 1.5 = 2175 \text{ kg/cm}^2$$

- Para el cálculo del perímetro se usara la ecuación (7.3a), se obtiene lo siguiente:

$$d = \frac{\text{perimetro de la losa}}{170} * 0.032 \sqrt[4]{fs * Wu} \quad (\text{Ecuación: 7.3a})$$

$$\text{perimetro} = (6 + 6 + 8 + 8) = 28$$

$$d = \frac{28}{170} * .033 \sqrt[4]{2520 * 2175} = 0.26m$$

Nota: el valor de “d” obtenido en la formula anterior es muy alto, por lo tanto se propone un valor de 15 cm.

Para obtener los cortantes, utilizaremos las formulas (7.5) y (7.6), de los cuales se hace una comparación, donde siempre el valor de Vcr debe ser mayor que el Vu.

$$Vu = \left(\frac{a_1}{2} - d\right) \left(.95 - .5 \frac{a_1}{a_2}\right) * Wu * 1.15 \quad (\text{Ecuación: 7.5})$$

$$Vu = \left(\frac{6}{2} - 0.15\right) \left(0.95 - .5 \frac{6}{8}\right) * 2175 * 1.15 = 4098.9 \text{ kg/cm}^2$$

$$Vcr = 0.5 * Fr * b * d * \sqrt{fc} \quad (\text{Ecuación: 7.6})$$

$$Vcr = 0.5 * 0.8 * 100 * 15 * \sqrt{160} = 7589.5 \text{ kg/cm}^2$$

Al hacer la comparación se tiene que el valor del cortante resistente es mayor, esto indica que se puede continuar, la comparación de los resultados se muestra a continuación:

$$Vu = 4098.9 \text{ kg/cm}^2 < 7589.5 \text{ kg/cm}^2$$

Para obtener el valor de los momentos, se deberán usar las siguientes ecuaciones y la tabla 7.1.

- Obtenemos la relación de a,

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{6}{8} = 0.75$$

- De la tabla 7.1, se tienen los siguientes valores. (el concreto a utilizar el clase 1), y se sabe que en la tabla no existe un valor de 7.5, es necesario interpolar para que dé los resultados. De lo anterior obtienen los siguientes valores mostrados en la tabla siguiente:

TABL. VALORES DE "K" PARA DIFERENTES FACTORES Y CLAROS.

| Tabla de valores "k" | | |
|----------------------|-----|-------------|
| Factores negativos | 450 | claro corto |
| | 330 | claro largo |
| Factores positivos | 680 | claro corto |
| | 500 | claro largo |

- Calculo de los momentos, para esto se utiliza la siguiente ecuación.

$$M = k * Wu * a_1^2 * 10^{-4} \quad (\text{Ecuación: 7.7})$$

- Momentos flexionantes para claro corto.

$$M_p = 680 * 2175 * 6^2 * 10^{-4} = 532\,440 \text{ kg} * \text{cm}^2$$

$$M_n = 450 * 2175 * 6^2 * 10^{-4} = 352\,350 \text{ kg} * \text{cm}^2$$

En la siguiente imagen se indica el valor de cada momento.

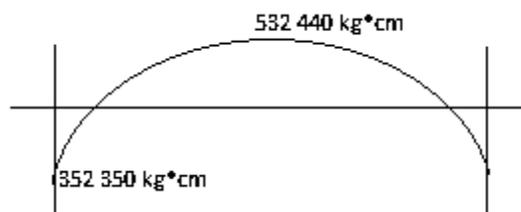


FIG. MOMENTOS MÁXIMOS CLARO CORTO, POSITIVO Y NEGATIVO

- Momentos flexionantes para claro largo.

$$M_p = 500 * 2175 * 6^2 * 10^{-4} = 391\,500 \text{ kg} * \text{cm}^2$$

$$M_n = 330 * 2175 * 6^2 * 10^{-4} = 258\,390 \text{ kg} * \text{cm}^2$$

En la siguiente imagen se indica el valor de cada momento.

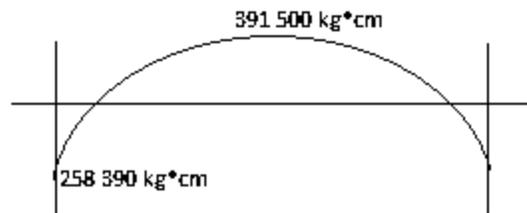


FIG. MOMENTOS MÁXIMOS CLARO LARGO, POSITIVO Y NEGATIVO

- CALCULO DEL ACERO REFUERZO

Este se debe calcular en cada claro, claro largo positivo o negativo y claro corto positivo o negativo, se hace el ejemplo para el acero de refuerzo que necesita la losa en el claro corto positivo y se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$Q = \frac{M}{F_r * b * d^2 * f''c} \quad (\text{Ecuación: 7.8})$$

$$Q = \frac{532\,350}{.9 * 100 * 15^2 * 136} = 0.19$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2Q} \quad (\text{Ecuación: 7.9})$$

$$q = 1 - \sqrt{1 - 2(0.19)} = .022$$

$$p = q \frac{f''c}{f_y} \quad (\text{Ecuación: 7.10})$$

$$p = 0.22 \frac{136}{4200} = 0.007$$

$$p_{min} = \frac{0.7 * \sqrt{160}}{4200} = .0021 < 0.003, \text{ se usa } 0.003 \text{ que es el recomendado por temperatura}$$

$$As = p * d * b \quad (\text{Ecuación: 7.11})$$

$$As = 0.003 * 15 * 100 = 4.5 \text{ cm}^2$$

- Para la separación y usando varillas del #3 se tiene que:

$$S = \frac{b * \phi \text{ de la varilla}}{As} \quad (\text{Ecuación: 7.12})$$

$$S = \frac{100 * 0.71}{4.5} = 15.77, \text{ irán a } 15 \text{ cm de separación.}$$

A continuación se tiene una tabla con resumen de los diferentes claros y diferentes momentos.

TABLA. VALORES DE ELEMENTOS PARA CALCULAR EL ACERO DE REFUERZO PARA LOS DIFERENTES MOMENTOS FLEXIONANTES.

| Tabla de resumen para los diferentes momentos flexionantes. | | | | | | | | |
|---|-----|------------------------------|------|-------|-------|---------------------|----------------------------|-------------|
| | "k" | "M" (kg*cm ²) | "Q" | "q" | "P" | "P _{min} " | "As" (cm ²) | "S" (cm) |
| claro corto | | | | | | | | |
| positivo | 680 | 532 400 | 0.19 | 0.217 | 0.007 | 0.0023 | 4.5 | 15 |
| negativo | 450 | 352 350 | 0.13 | 0.137 | 0.004 | 0.0023 | 4.5 | 15 |
| claro largo | | | | | | | | |
| positivo | 500 | 391 500 | 0.14 | 0.154 | 0.005 | 0.0023 | 4.5 | 15 |
| negativo | 330 | 258 390 | 0.09 | 0.099 | 0.003 | 0.0023 | 4.5 | 15 |

Resumiendo los resultados obtenidos se tiene lo siguiente:

- El peralte de nuestra losa es de 15 cm
- La $V_{cr} > V_u$
- El acero de refuerzo que necesitamos por 1 m² de losa es de 4.5 cm²
- La separación de varillas en ambas direcciones es de 15 cm

Lista de variables:

- As: área de la sección transversal de la sección de acero de una viga compuesta; área efectiva de una soldadura, mm^2 (cm^2)
- b: ancho total de un elemento plano comprimido; ancho de una cara de una sección tubular rectangular o cuadrada; ancho del patín de una sección I o H, mm (cm)
- d: ancho de una placa; peralte de una sección; ancho de una cara de una sección tubular rectangular o cuadrada; distancia entre centros de montantes de una columna armada; diámetro nominal de un remache o tornillo; diámetro del rodillo o mecedora de un apoyo libre, mm (cm)
- f'c: resistencia especificada del concreto en compresión, MPa (kg/cm^2)
- f''c: esfuerzo de compresión en el concreto de una viga compuesta en flexión positiva, MPa (kg/cm^2)
- f*c: resistencia nominal del concreto en compresión, MPa (kg/cm^2)
- fm: factor de reducción de la resistencia
- fy: valor mínimo garantizado del esfuerzo correspondiente al límite inferior de fluencia del acero, MPa (kg/cm^2)
- fs: resistencia nominal del metal de un electrodo; resistencia nominal de una soldadura de filete, MPa (kg/cm^2)
- fr: factor de reducción de la resistencia
- k: coeficiente que interviene en el cálculo de la resistencia al cortante de almas de vigas y trabes armadas; coeficiente de pandeo de placas
- M: momento flexionante de diseño en el punto de aplicación de una carga concentrada (para el cálculo de conectores de cortante); momento de diseño de un montante de una columna armada, N-mm (kg-cm)
- Mr: momento resistente de diseño de la sección de acero de una viga compuesta, N-mm (kg-cm)
- p: parámetro que se usa para determinar el ancho efectivo de elementos planos comprimidos de paredes delgadas
- Q: factor de comportamiento sísmico
- S: separación longitudinal centro a centro entre varillas, para tornillos o remaches, en la dirección en que se transmiten las fuerzas (paso), mm (cm)
- Vr: resistencia de diseño al cortante, N (kg)
- Vu: fuerza que se introduce en una columna compuesta, N (kg)
- W: peso de la losa de diseño estructural, N (kg)
- Wu: peso de la losa de diseño estructural, multiplicado por un factor de riesgo, N (kg)