



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

MANUAL PARA EL DISEÑO E INSTALACIÓN  
DE UNA AZOTEA VERDE

TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A  
IRAI S GUADALUPE SÁNCHEZ MORA

ASESOR DE TESIS  
M.I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, JUNIO 2012



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/123/11

Señorita  
GUADALUPE SÁNCHEZ MORA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"MANUAL PARA EL DISEÑO E INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA VERDE"**

- GENERALIDADES
- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. MARCO JURÍDICO
- III. CRITERIOS DE DISEÑO
- IV. ELEMENTOS QUE INTEGRAN A UNA AZOTEA VERDE
- V. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EDIFICACIONES
- VI. METODOLOGÍA DE REVISIÓN ESTRUCTURAL
- VII. BENEFICIOS
- VIII. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 9 de enero del 2012.  
EL PRESIDENTE

  
M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JTS/MTH\*gar.

## AGRADECIMIENTOS

---

---

A mis padres:

Gracias por cada desvelo, por cada apoyo, por cada palabra de aliento cuando más la necesitaba y al esfuerzo realizado para ayudarme a lograr un gran sueño de mi vida, y por su gran amor.

A mi hermano:

Gracias por cada consejo, comprensión y apoyo, y sobre todo al gran cariño demostrado.

A mis sobrinos:

Gracias por todo su apoyo y por cada momento de alegría lo cual hizo más ameno el camino.

A mi tutor:

Gracias por cada enseñanza y por todo el apoyo brindado en mi formación profesional.

A mis amigos:

Gracias por cada momento que compartimos, por cada alegría, por cada consejo, por todo su cariño además de su apoyo, y a esa persona tan especial que me demuestra su amor cada día.

A mi universidad:

Gracias por esta formación académica, por todos los conocimientos otorgados, gracias por darme una formación profesional.

Y gracias a Dios por permitirme llegar hasta este día.

## INDICE

### GENERALIDADES

GENERALIDADES	7
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS PARTICULARES	8
ALCANCES	8
LIMITACIONES	8
PRÓLOGO	9

### INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN	10
--------------	----

### I ANTECEDENTES

1 ANTECEDENTES	13
1.1 MARCO HISTÓRICO	14
1.1.1 CONGRESO MUNDIAL DE AZOTEAS VERDES	21
1.2 TERMINOLOGÍA	21

### II MARCO JURÍDICO

2 MARCO JURÍDICO	23
2.1 INTERNACIONAL	24
2.1.1 TECHOS VERDES PARA CIUDADES SALUDABLES	24
2.1.2 ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE AZOTEAS VERDES	25
2.1.3 LEGISLACIÓN COLOMBIANA	26
2.2 NACIONAL	27
2.2.1 LEY AMBIENTAL DEL DISTRITO FEDERAL	28
2.2.2 LEY DE DESARROLLO URBANO DEL DISTRITO FEDERAL	28
2.2.3 NORMATIVIDAD DEL DISTRITO FEDERAL	29
2.2.4 GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL	29
2.3 INSTITUCIONES COMPETENTES	30
2.3.1 ASOCIACIÓN MEXICANA PARA LA NATURACIÓN DE AZOTEAS	30
2.3.2 COMISIÓN DE RECURSOS NATURALES DE LA SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE DEL DISTRITO FEDERAL	31

### III CRITERIOS DE DISEÑO

3 CRITERIOS DE DISEÑO	32
3.1 TIPO DE NATURACIÓN	32
3.2 REQUISITOS MÍNIMOS PARA LA INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA VERDE	35
3.3 REQUISITOS PREVIOS PARA NUEVAS EDIFICACIONES	36
3.4 REQUISITOS PREVIOS PARA EDIFICACIONES EXISTENTES	36
3.5 PARAMETROS DE NATURACIÓN	37
3.6 PENDIENTE DEL TECHO	38
3.7 CONSIDERACIONES DE CARGA	39
3.8 ALTURA DEL TECHO Y ORIENTACIÓN AL CIELO	39
3.9 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL SUSTRATO	40
3.10 DRENAJE	40
3.11 CONTROL DE PLAGAS	41
3.12 PREVENCIÓN DE INCENDIOS	42
3.13 PREVENCIÓN DE ACCIDENTES	42

3.14 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA AZOTEA VERDE-----	42
---	----

#### **IV ELEMENTOS QUE INTEGRAN A UNA AZOTEA VERDE**

4 ELEMENTOS QUE INTEGRAN A UNA AZOTEA VERDE-----	43
4.1 SOPORTE ESTRUCTURAL -----	47
4.2 SISTEMA DE DESALOJO DE AGUA -----	48
4.3 AISLAMIENTO TÉRMICO -----	48
4.4 MEMBRANA ANTI-RAÍZ- IMPERMEABILIZANTE -----	49
4.4.1 ESTANQUIDAD DE LA MEMBRANA ANTI- RAÍZ IMPERMEABILIZANTE -----	52
4.4.2 PROTECCIÓN DE LA MEMBRANA ANTI-RAÍZ IMPERMEABILIZANTE -----	53
4.5 CAPA DRENANTE -----	53
4.6 CAPA FILTRANTE-----	54
4.7 CAPA DE SUSTRATO-----	56
4.8 CAPA DE VEGETACIÓN -----	59
4.8.1 CAPA DE VEGETACIÓN EXTENSIVA -----	60
4.8.2 CAPA DE VEGETACIÓN SEMI-INTENSIVA -----	62
4.8.3 CAPA DE VEGETACIÓN INTENSIVA -----	64
4.9 NATURACIÓN CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS O FOTOTÉRMICOS -----	66
4.10 ACCESO A LA AZOTEA -----	67

#### **V IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EDIFICACIONES**

5 IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EDIFICACIONES -----	68
5.1 CICLOS BIOGEOQUÍMICOS-----	71
5.1.1 FOTOSÍNTESIS -----	71
5.1.2 CICLO DEL NITRÓGENO -----	73
5.1.3 CICLO DEL OXÍGENO -----	74
5.1.4 CICLO DEL FÓSFORO-----	75
5.1.5 CICLO DEL CARBONO -----	76
5. 2 ISLA DE CALOR -----	77

#### **VI METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN ESTRUCTURAL**

6 METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN ESTRUCTURAL -----	79
6.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES-----	82
6.2 ANÁLISIS DE CARGAS -----	83
6.3 PERALTE MÍNIMO -----	84
6.4 CORTANTE DE LA LOSA-----	85
6.5 ACERO DE REFUERZO -----	86

#### **VII BENEFICIOS**

7 BENEFICIOS-----	91
7.1 BENEFICIOS FISCALES -----	91
7.2 BENEFICIOS AMBIENTALES -----	91
7.2.1 MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE -----	92
7.2.2 REGULACIÓN DE LA HUMEDAD-----	92
7.2.3. CREACIÓN DE HÁBITATS -----	92
7.2.4 REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA -----	93
7.2.5 RETENCIÓN DE AGUA -----	93
7.3 BENEFICIOS SOCIALES-----	94
7.3.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO -----	94
7.3.2 RETENCIÓN DE AGUA -----	95
7.4 BENEFICIOS ECONÓMICOS-----	95

7.4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO-----	96
7.4.2 MEJORAMIENTO DE LA VIDA ÚTIL DE LA CUBIERTA-----	97
7.5 BENEFICIOS DE SALUD-----	98
7.5.1 AISLAMIENTO TÉRMICO-----	98
7.5.2 AISLAMIENTO ACÚSTICO-----	98
7.6 BENEFICIOS ESTÉTICOS-----	99
7.6.1 ESPACIO ÚTIL-----	99
7.6.2 CREACION DE HÁBITATS-----	99
7.6.3 MEJORAMIENTO VISUAL-----	100

## **VIII CONCLUSIONES**

8 CONCLUSIONES-----	102
---------------------	-----

## **BIBLIOGRAFIA**

BIBLIOGRAFÍA-----	105
-------------------	-----

# GENERALIDADES

---

---

## OBJETIVO GENERAL

---

---

- Generar un documento que cuente con las bases necesarias para el diseño e instalación de una azotea verde de cualquier tipo, sin importar el tipo de estructura en la que se desee instalar el área naturada.

## OBJETIVOS PARTICULARES

---

---

- Establecer la metodología para la revisión estructural de un inmueble sobre el cual se desee la instalación de una azotea verde.
- Dar a conocer los diferentes tipos de beneficios que otorga la instalación de una azotea verde en un inmueble.

## ALCANCES

---

---

La aportación de una metodología para el diseño de una azotea verde, de manera que cualquier persona capacitada en el área del conocimiento de ingeniería civil, identifique si la vivienda en estudio presenta las condiciones suficientes de espacio y resistencia para la instalación de una azotea verde.

## LIMITACIONES

---

---

El contenido de este documento sólo es informativo, éste solo muestra la metodología básica para la instalación de una azotea verde, sin tomar en cuenta los costos y proveedores de los materiales que intervienen en la instalación.



## PRÓLOGO

---

---

En este capítulo se describen en forma general, los aspectos más importantes y relevantes sobre el diseño e instalación de una azotea verde. Además se mencionan algunas de las cualidades y funciones que representa el contar con una azotea de este tipo sobre cualquier inmueble ya sea existente o en su caso nuevo. Esto con el propósito de que el lector comprenda de manera general el contenido de este trabajo.

# INTRODUCCIÓN

---

---

## INTRODUCCIÓN

---

---

Aun está lejos el objetivo de convertir a las ciudades urbanizadas en ciudades verdes, tomando en cuenta que la normatividad es escasa a nivel internacional pero más aún en el nacional. Es hasta el año 2011 que se publica el primer documento normativo para el diseño e instalación de azoteas verdes, en años anteriores solo se contaba con sugerencias para su instalación.

Pero ¿A qué se le denomina azotea verde? No es más que vegetación instalada adecuadamente sobre una azotea, esto mediante un proceso detallado de diseño e instalación. No es válido suponer que una azotea verde es una azotea llena de macetas. Existen distintos tipos de naturación, llamada así a la vegetación a instalar.

El Sistema de Azotea Verde implica un tratamiento especial al techo; es una técnica muy segura que se adapta a las características de cada construcción, para proteger la superficie y generar beneficios tangibles para quienes habitan el lugar.

Una azotea verde contiene gran cantidad de capas y componentes, los cuales hacen que funcione de manera correcta y confiable sobre el inmueble donde sea instalada.

Las azoteas verdes pueden ser instaladas en edificaciones nuevas y ya existentes, siempre llevando a cabo un diseño adecuado de la losa que soportará su instalación, a demás de cumplir con los requerimientos vigentes del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

En las azoteas verdes se tiene la posibilidad de cultivar pequeños vegetales, además una azotea verde conlleva diversos beneficios de: salud, sociales, ambientales y estéticos los cuales hacen un ambiente más cálido y confortable, pero sin dejar de lado los beneficios económicos y fiscales, los cuales reducirán los costos prediales y de energía eléctrica.

El proyecto de instalación y diseño de una azotea verde tiene que ser ejecutado mediante la supervisión de un ingeniero civil. Lamentablemente a los ingenieros, en particular a los civiles se les ha catalogado como destructores del medio ambiente, pero con la instalación de azoteas verdes surge otra perspectiva de ellos, al involucrar

en sus proyectos acciones que cambian el aspecto gris de una ciudad, por uno verde y natural, contribuyendo en todo momento al desarrollo sustentable.

En el siguiente capítulo se da una breve reseña de la evolución de las azoteas verdes en el hábito nacional como internacional.

# I ANTECEDENTES

---

---

## 1 ANTECEDENTES

---

En este capítulo se explica el inicio y evolución que se ha tenido en el diseño e instalación de las azoteas verdes en el ámbito internacional como en el nacional. Dicha evolución en este tipo de azoteas es tal, que ya se cuenta con el congreso internacional sobre azoteas verdes para seguir perfeccionando su diseño, así como la instalación.

### 1.1 MARCO HISTÓRICO

---

El uso de azoteas verdes se remonta a varios siglos atrás. El primer antecedente del que se tiene registro son los "Jardines colgantes de Babilonia", creados en los siglos VII y VIII a.C.

Posteriormente el arquitecto suizo nacionalizado francés Charles Édouard Jeanneret-Grisb mejor conocido como Le Corbusier, fue el primero en incluir el concepto de azotea verde en Europa Occidental de manera sistemática. A partir de 1920 incluyó la naturación en edificios para sus clientes con alto poder adquisitivo.

La naturación de la era moderna comienza en Alemania en la década de los sesentas al desarrollar la técnica de las "azoteas verdes", la cual se difundió posteriormente a lo largo de toda Europa. Un ejemplo de esto es la ciudad de Stuttgart en Alemania, la cual fue una de las primeras en otorgar beneficios fiscales por y para la implementación de azoteas verdes en la década de los ochentas. En la ciudad de Berlín se adoptaron medidas similares a finales de la década de los ochentas, con la condicionante de que toda nueva edificación que cuente con un área considerable, debe instalar una azotea verde como requisito, esto para obtener derecho a la construcción de la misma.

En la actualidad se calcula que alrededor del 40% de las ciudades alemanas ofrecen algún tipo de incentivo para la instalación de azoteas verdes en sus edificaciones, se tiene contabilizado hasta el año 2000 que Alemania contaba con más de 15 millones de metros cuadrados de azoteas verdes.

Además de Alemania, la mayoría de los países europeos cuentan con azoteas verdes en sus edificaciones, algunos de ellos son: Suiza, Holanda, Hungría, Suecia, e Inglaterra; los cuales tienen asociaciones para fomentar la instalación de azoteas verdes. En la ciudad de Linz, Austria se otorgan incentivos a los constructores para que instalen azoteas verdes en las nuevas edificaciones. Francia cuenta con una enorme azotea verde de 8.000 metros cuadrados aproximadamente, la cual fue instalada en el museo L'Historial de la Vendée inaugurado en junio de 2006 en Les Lucs-sur-Boulogne. En la figura 1.1 se muestra la azotea verde del L'Historial de la Vendée.



**Fig. 1.1 Museo L'Historial de la Vendée**

La ciudad de Madrid, España cuenta con una de las azoteas verdes más grandes del continente europeo, la cual está instalada en el Banco Santander con más de 100,000 metros cuadrados, siendo una combinación de sistema intensivo y extensivo. En la figura 1.2 se muestra el área naturalizada de dicho Banco.



**Fig. 1.2 Banco Santander Madrid, España**

El continente Europeo cuenta con gran implementación de azoteas verdes en las diversas construcciones nuevas y existentes, por lo que cuenta con las mejores instalaciones y diseños de éstas. En el periodo de 2000 a 2010, se calcula la instalación de alrededor de 10 mil hectáreas de azoteas verdes.

En el continente asiático un país representante en este tema es Japón, en la ciudad de Tokio se incluyó como requisito que todo aquel nuevo edificio con una área mayor a 1000 metros cuadrados sobre el suelo, tendrá que contar con una azotea verde del 20% del total de la edificación, con esta medida se desea lograr instalar 1200 hectáreas de azoteas verdes en el año 2011 y poder reducir la temperatura del centro de la ciudad un grado Celsius.

En lo que respecta al continente americano destacan los Estados Unidos de Norte América, específicamente la Ciudad de Illinois, tratando de ser la ciudad más verde de dicho país, colocando en gran escala azoteas verdes sobre las edificaciones nuevas y existentes. Estudios realizados en Estados Unidos de Norte América han determinado que las edificaciones que cuentan con una azotea verde han disminuido el consumo de energía hasta en un 25%.



La ciudad de Chicago, por su parte, tiene una gran cantidad de azoteas verdes instaladas en sus edificaciones (más de 200), mismas que cubren un área de 232,250 metros cuadrados aproximadamente. Uno de los edificios que cuenta con azotea verde es el Mayor Daley's City Hall, de la conocida tienda de autoservicio Target. En la figura 1.3 se muestra la azotea verde instalada en el edificio Mayor. Es tal el impacto de este tipo de áreas naturadas que se implementaron recorridos específicos para visitar las azoteas verdes de esta ciudad.



**Fig. 1.3 Mayor Daley's City Hall.**

En lo que concierne a México es muy poca la implementación de las azoteas verdes. El inicio de la instalación de este tipo de infraestructura fue en el año de 1999 en el Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por medio de un convenio con la Comisión de Recursos Naturales del Gobierno de la Ciudad de México (CORENA). La principal función de dicho convenio fue el llevar a cabo la instalación de azoteas verdes y mitigar los altos índices de contaminación atmosférica de la Ciudad de México. Este convenio se realizó durante la gestión del Ing. Cuauhtémoc Cárdenas quien era entonces Jefe de Gobierno de la Ciudad de México. Los recursos para este convenio se obtuvieron del Banco Interamericano de Desarrollo, teniendo como iniciadores al Doctor Gilberto Nava de la Universidad de Chapingo, y Jerónimo Reyes investigador del Jardín Botánico de la UNAM, los cuales fueron enviados a la Universidad de Humboldt en Berlín, Alemania, para su capacitación en modelos de azoteas verdes.

Una de las primeras azoteas verdes instaladas en la Ciudad de México fue en el Hospital Belisario Domínguez ubicado en la delegación Iztapalapa.

En México se consideraba a mediados del año 2000, una cifra de 3000 metros cuadrados de azoteas verdes aproximadamente, pero después de la segunda mitad del año 2000 se ha dado una mayor difusión a este tema, esto ha dado pie al incremento de investigación sobre su instalación, dicha investigación es llevada a cabo por la UNAM a través del Jardín Botánico y por diversos institutos.

El gran interés de diversas instituciones llevó a la Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas Verdes a crear la primer norma para la instalación de "sistemas naturados" (sinónimo de azotea verde), siendo esta la primera de Latinoamérica, esto conlleva a la fundación de nuevas organizaciones y grupos para impulsar la instalación de azoteas verdes.

México es conocido como uno de los países que encabezan 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.

En el año 2011 México contaba con casi 20, 000 metros cuadrados de azoteas verdes en edificios públicos, teniendo el objetivo de llevar a cabo la instalación de 10, 000 metros cuadrados de azoteas verdes por año en estos edificios, tratando de llegar a los 30,000 metros cuadrados durante el año 2012.

Los edificios públicos con áreas naturadas hasta el año 2011 eran: el Banco HSBC, el Museo Interactivo de Economía, la Glorieta de Insurgentes con alrededor de 1037 metros cuadrados, y la azotea verde más grande México que se encuentra en las instalaciones del INFONAVIT contando con 5,200 metros cuadrados, en lo que respecta al Distrito Federal y área conurbada. En las figuras 1.4 y 1.5 se muestran las áreas naturadas de algunos de estos edificios públicos.

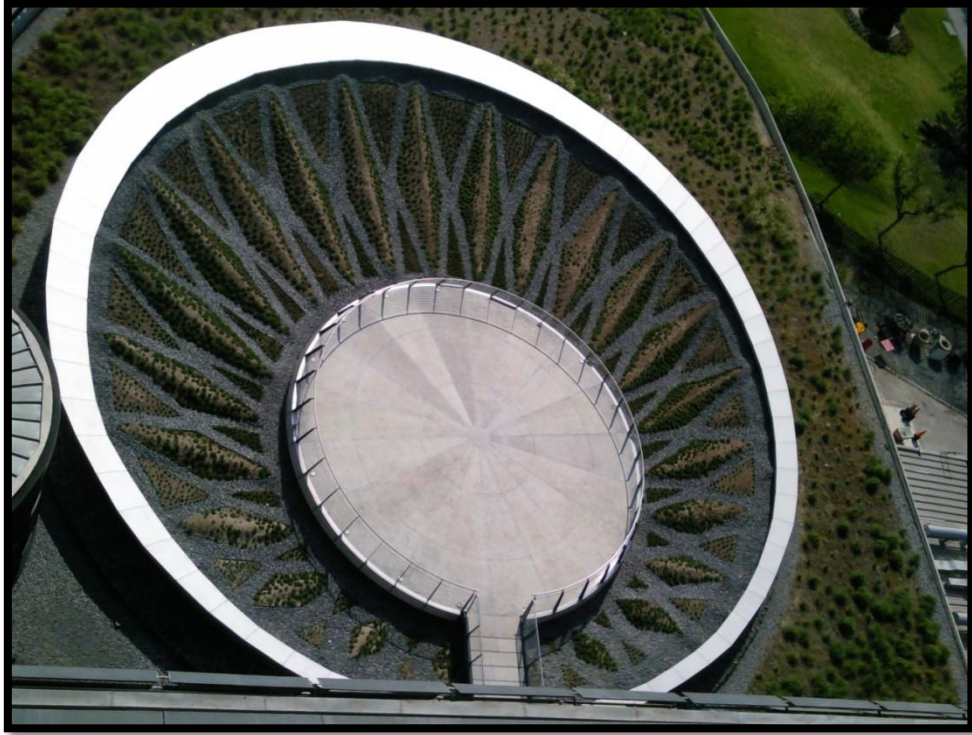


**Fig. 1.4 Azotea Verde de la Glorieta de Insurgentes**



**Fig. 1.5 Azotea verde en las instalaciones del INFONAVIT**

En el interior de la República Mexicana el Estado de Nuevo León cuenta con el Museo del Acero en el Parque Fundidora. En la figura 1.6 se muestra la azotea verde de dicho museo. Seguido por el estado de Jalisco específicamente en Zapopan con el inmueble “El Acantilado”. En la figura 1.7 se muestra la azotea de este inmueble.



**Fig. 1.6 Azotea verde del Museo del Acero, Nuevo León.**



**Fig. 1.7 Azotea Verde El Acantilado, Jalisco**

Al ser tal el desarrollo e impulso de la tendencia para la implementación de las azoteas verdes, los gobiernos estatales están creando estrategias mediante estímulos tributarios o en su caso exención de pago de los impuestos prediales, o bien, con

porcentaje de descuento en los mismos, para que de esta manera crezca el porcentaje de naturación dentro de su localidad.

---

### 1.1.1 CONGRESO MUNDIAL DE AZOTEAS VERDES

---

El interés de México sobre el tema de instalación de azoteas verdes ha sido de suma importancia, ya que fue sede del congreso de azoteas verdes en el año 2010, siendo el primer país latinoamericano en recibirlo. Este congreso se ha realizado en diferentes ciudades tales como: Basel, Suiza (2005), Linz, Austria (2007), Londres, Inglaterra (2008) y Toronto, Canadá (2009), y en 2012 en Brisbane, Australia.

Uno de los objetivos de este congreso es promover la creación de nueva infraestructura para la instalación de azoteas verdes, además de obtener mayor difusión, y el emprender la iniciación de nuevas instituciones que se encarguen de la regulación y verificación de las áreas naturadas.

El congreso de azoteas verdes cuenta con especialistas de calidad internacional procedentes de diferentes países, tales como Brasil, México, Argentina, Canadá, Estados Unidos de América, Alemania, España y Australia, entre otros.

Así como se abordó en este capítulo el inicio y evolución de las azoteas verdes, en el siguiente capítulo se tocará el tema de la legislación internacional, nacional e instituciones competentes a nivel nacional sobre este tipo de azoteas.

## 1.2 TERMINOLOGÍA.

---

### 1. Azotea verde:

Es el techo de una edificación que está parcial o totalmente cubierto de vegetación ambiental.

### 2. Sistema de naturación:

Es la instalación que se otorga a las superficies horizontales o inclinadas, que cuenta con diversas capas adaptadas a sus condiciones físicas y mecánicas de la estructura, creando una superficie vegetativa.

### 3. Capa complementaria:

Capa colocada entre diversos elementos de un sistema de naturación, la cual se intercala para proporcionar características específicas, dicha capa puede ser; antiadherente, antipunzonante, entre otras.

4. Capa separadora:

Esta capa facilita los movimientos diferenciales entre los componentes del sistema, y brinda protección química a las demás capas que se encuentran en el inferior y superior de dicha capa.

5. Cubierta:

Conjunto de elementos utilizados para el encerramiento de la última capa, la cual tendrá contacto con el exterior.

6. Estanquidad:

Capacidad de un elemento para un perfecto sellado entre uniones.

7. Fitotoxicidad:

Existencia de sustancias que llegan a producir trastornos incluso la muerte de los vegetales.

8. Impermeabilidad:

Propiedad de la unión de dos cuerpos para impedir el paso de líquidos a través de estos.

9. F'c

Resistencia a la compresión de un espécimen de concreto a carga axial, teniendo como unidades kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

10. Fy

Fluencia del acero, resistencia a la tensión, teniendo como unidades kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

11. Wc

Peso específico del concreto, teniendo como unidades kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

## II. MARCO JURÍDICO

---

---

## 2 MARCO JURÍDICO

---

---

En este apartado se describe una serie de disposiciones, reglamentos y lineamientos, para llevar a cabo una instalación correcta dentro del marco legal, en el entorno internacional así como en el nacional, además de las instituciones que se encargan de promover la instalación de azoteas verdes, y su regulación en la República Mexicana.

### 2.1 INTERNACIONAL

---

La legislación de azoteas verdes aún es escasa en el ámbito internacional. Aunque existen algunos países que cuentan con su propia legislación, la mayoría de los países aún no cuentan con legislación propia sobre este tema; por tal situación se crearon dos grandes asociaciones internacionales que se encargan de establecer lineamientos estándar para llevar a cabo la instalación de una azotea verde, en los países que no cuentan con legislación. Dichas asociaciones son Techos Verdes para Ciudades Saludables por sus siglas en inglés "Green Roofs for Healthy Cities" (GRHC) y la Asociación Internacional de Azoteas Verdes por sus siglas en inglés "International Green Roof Association" (IGRA). En los capítulos subsecuentes se describen dichas instituciones

---

#### 2.1.1 TECHOS VERDES PARA CIUDADES SALUDABLES (GRHC)

---

La organización de Techos Verdes para Ciudades Saludables fue fundada como resultado del proyecto de investigación sobre los beneficios de las azoteas verdes y las barreras para el desarrollo de la industria, integrada por organizaciones públicas y privadas, esta asociación rige principalmente a América del Norte.

Esta asociación otorga la "Certificación del Diseño del Techo Verde 101", a diferentes organismos gubernamentales y privados, pero, dado que es poca la información con la



que se cuenta la GRHC ofrece un curso sobre “Tecnologías de techo verde en América del Norte”, el cual consta de los siguientes programas:

- Curso introductorio: Green Roofs Diseño 101
- Diseño e instalación de 201: Infraestructura del Techo Verde
- Impermeabilización de Techos Verdes y Drenaje 301
- Las plantas verdes y medios de cultivo 401

Estos cursos son de apoyo para la formación de profesionales en materia de azoteas verdes, siempre y cuando el interesado acredite el examen de certificación de GRP por sus siglas en ingles Green Roof Professional.

La GRHC en conjunto con la industria de capas para techos por sus siglas en ingles 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.

---

### 2.1.2 ASOCIACIÓN INTERNACIONAL DE AZOTEAS VERDES (IGRA)

---

Esta asociación regula los requisitos técnicos con respecto a la instalación de azoteas verdes, principalmente a los países europeos, asimismo da a conocer los diversos tipos de azoteas verdes, los tipos de vegetación, conservación y mantenimiento. También establece lineamientos preventivos para que cada país pueda contar con lineamientos básicos y de esta manera desarrollar leyes y normas propias sobre Azoteas Verdes.

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

- Capacidad para el soporte de carga
- Elevación
- Protección contra incendios
- Temperatura

- Protección contra ruido

En la parte técnica sobre azoteas verdes se tiene:

- Material de impermeabilización
- Instalación
- Pendiente
- Drenaje

Además esta asociación promueve programas de azoteas verdes en países que aún no tienen legislación sobre el tema, dichos programas contienen lineamientos sobre ingeniería y arquitectura del paisaje para llevar a cabo una correcta instalación.

IGRA tiene políticas que proponen dar diversos incentivos a los propietarios de los inmuebles que tienen instalada una azotea verde, algunos de estos incentivos son:

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

Cada país puede tomar estos incentivos o proponer otros, tal como en el caso de aguas pluviales, no todos los países cuentan con un drenaje de aguas pluviales, varios lo tienen combinado, por lo tanto el incentivo de reducción de impuestos de aguas pluviales, se podría aplicar al pago de aguas residuales.

---

### 2.1.3 LEGISLACIÓN COLOMBIANA

---

No solo América del Norte y Europa cuentan con Normas para la instalación de Azoteas Verdes, en América Latina destaca Colombia, en 2009 dio a conocer el proyecto de acuerdo Número 386 del decreto 1421 de 1993, entrando en vigor a partir de su fecha de publicación. Implementa, promueve y estimula las tecnologías de creación de azoteas verdes en Bogotá, entre otras disposiciones ambientales. A continuación se da una breve explicación de los artículos 1 al 5 de dicho decreto.

1. Toda construcción nueva del orden Distrital para la prestación de servicios, implementará en sus techos tecnologías de azoteas verdes o techos ecológicos, conforme a las normas de construcción existentes.

2. Las nuevas edificaciones que cuenten con tecnologías de azotea verde podrán tener beneficios financieros para la recuperación de la inversión realizada, también podrá aplicar la certificación de captura de carbono (CCC).
3. Se contará con la ayuda de las Secretarías de Hábitat, Ambiente y el Jardín Botánico José Celestino Mutis, para la cuantificación de CCC y las diversas especies orgánicas y vegetales que pueden ser colocadas en una azotea verde.
4. Las edificaciones ya existentes de orden público que no cuenten con tecnologías de azoteas verdes tendrán hasta el año 2020 para la implementación progresiva de dichas tecnologías.

*"La administración distrital, para tales efectos deberá hacer un inventario de las áreas susceptibles de aplicación del presente Acuerdo a fin de planificar e incorporar progresivamente los respectivos recursos en los presupuestos de las entidades en cada vigencia con miras a dar cumplimiento a lo establecido en el presente Acuerdo."*

5. Promover la implementación de tecnologías de azoteas verdes en el sector privado por medio de la Administración distrital.

También América Latina está trabajando en la implementación de azoteas verdes siendo Colombia un gran ejemplo.

## 2.2 NACIONAL

---

En México existen pocos documentos oficiales acerca del diseño e instalación de una azotea verde. Solo el Distrito Federal cuenta con una normatividad, ya que es mínimo el interés por parte de los Gobiernos Estatales para realizar algún tipo de legislación. Solo el estado de Jalisco cuenta con una iniciativa para la legislación de azoteas verdes, propuesta a finales del año 2011, pero aún no a tenidos ningún avance.

---

### 2.2.1 LEY AMBIENTAL DEL DISTRITO FEDERAL

---

La ley Ambiental para el Distrito Federal, fue decreta por la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, publicada el 13 de enero del año 2000, y teniendo su última reforma el 24 de febrero de 2009.

En el artículo 27 se cita la evaluación del sector ambiental, la cual será llevada a cabo anualmente por la Secretaria del medio Ambiente, y al término de esta evaluación se presentará un informe ante la Asamblea Legislativa del Distrito Federal.

El 31 de enero de 2002 se adiciona el artículo 27 Bis en el cual se da a conocer el cumplimiento del Programa Generación de Ordenamiento Ecológico del Distrito Federal, en el cual se describe que siempre se tendrá que cuidar las áreas verdes y las edificaciones destinadas a habitación y servicios, además de generar otras actividades siendo esto responsabilidad de las autoridades y habitantes.

---

### 2.2.2 LEY DE DESARROLLO URBANO DEL DISTRITO FEDERAL

---

Ley publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el 29 de enero de 1996, la cual fue realizada por la Asamblea de representantes del Distrito Federal, teniendo su última actualización el 11 de agosto de 2006.

La parte que corresponde a las áreas verdes queda en el Ordenamiento General de Normas de la Gaceta Oficial del Distrito Federal publicada el 8 de abril de 2005.

Como se indica en el apartado número 8 de dicha gaceta referente a instalación de azoteas verde 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 (INAH), del Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura (INBAL) y de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda

(SEDUVI), además de las Normas de Ordenación que establece el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano para Áreas de Conservación Patrimonial.

---

### 2.2.3 NORMATIVIDAD DEL DISTRITO FEDERAL

---

La Norma Ambiental para el Distrito Federal, nombrada NADF-013-RNAT-2007, decretada por el Órgano del Gobierno del Distrito Federal en su décima séptima época del 24 de diciembre de 2008 no. 491, establece especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en los inmuebles del Distrito Federal, así como los siguientes requerimientos:

- Requerimientos previos en edificaciones nuevas
- Requerimientos previos en edificaciones existentes
- Parámetros para cada tipo de naturación

---

### 2.2.4 GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL

---

Es hasta el año 2011 que se estipula en los siguientes artículos la instalación de azoteas verdes, por el Órgano de Difusión del Gobierno del Distrito Federal en la décima séptima época del 3 de mayo de 2011 no. 1087.

A continuación se da una interpretación de dichos artículos, los cuales son:

Número 87: Se considera como área verde cualquier cubierta vegetal en vía pública, área o estructura con tecnología naturada instalada en azoteas de edificaciones.

Numero 88 BIS 5: Se instalarán, en la medida de lo posible, azoteas verdes por las autoridades locales del Distrito Federal sobre sus edificaciones, pero para los inmuebles Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), el Instituto Nacional de Bellas Artes y Literatura, y la Secretaría 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.

## 2.3 INSTITUCIONES COMPETENTES

---

Siendo poca la información y leyes que existen en nuestro país, también son pocas las instituciones que se ocupan por la instalación de azoteas verdes, las cuales son: la Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas (AMENA) y la Comisión de Recursos Naturales de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal (CORENA).

### 2.3.1 ASOCIACIÓN MEXICANA PARA LA NATURACIÓN DE AZOTEAS (AMENA)

---

Asociación civil creada en 2005, teniendo como objetivo investigar, capacitar e informar de los beneficios ambientales, económicos y sociales que representa tener una azotea verde, a personas o empresas que deseen saber e instalarlas en sus inmuebles..

AMENA colabora esencialmente con la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), para la investigación de nuevos y diferentes aspectos de la naturación en azoteas del país.

También trabaja en la promoción internacional, guardando un enfoque latinoamericano de la naturación de azoteas, utilizándolo como herramienta para el desarrollo regional y urbano. Además sensibiliza a la población y gobernantes mediante la creación de campañas publicitarias.

Considera como idea base llevar al mercado internacional la naturación de azoteas verdes, principalmente a Latinoamérica, siendo el centro de coordinación, compartiendo experiencias y conocimientos con otras instituciones y asociaciones.

Cuentan con la certificación de la Universidad Humboldt de Berlín Alemania IASP y de la GRHC.

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

---

El Gobierno del Distrito Federal elaboró y puso en marcha el proyecto denominado "Plan Verde" en junio del 2011, con la colaboración de CORENA, siendo este proyecto el inicio para 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 y energía

Lo correspondiente a naturación de azoteas es el apartado de Habitabilidad y espacio Público en su cuarta estrategia que se cita como: "Incremento de las áreas verdes y dotación de infraestructura, mobiliario urbano y elementos de accesibilidad para los espacios públicos."

En dicha estrategia se plantea lo siguiente: "Incrementar la superficie naturada de azoteas en edificios públicos del Distrito Federal con una superficie de 30,000 metros cuadrados para el 2012."

Para entender, el por qué se necesitan de estas legislaciones, en los capítulos siguientes se dan a conocer todos los componentes básicos de la instalación, diseño y criterios una azotea verde.

# III. CRITERIOS DE DISEÑO

---

---



## 3 CRITERIOS DE DISEÑO

---

Los criterios de diseño son lineamientos y pautas basadas en necesidades humanas, así como en la experiencia e investigación sobre el tema en cuestión. En este capítulo se describirán los criterios más importantes y fundamentales a considerar en la instalación y diseño de una azotea verde.

### 3.1 TIPO DE NATURACIÓN

---

Inicialmente se consideraban dos tipos de naturación que eran muy radicales, uno era con poca naturación y el otro con demasiada naturación, por lo cual en la actualidad se consideran tres tipos, los cuales son:

1. Naturación extensiva

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 un carga permanente entre los 110 y 140 kg/m<sup>2</sup> en estado saturado.

2. Naturación semi-intensiva

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 250kg/m<sup>2</sup>.

3. Naturación intensiva

Capas de crecimiento de vegetación arriba de un sistema de cubierta tradicional, necesita mantenimiento frecuentemente, espesor mínimo de 20 cm, peso en estado saturado mayor a los 250 kg/m<sup>2</sup>.

En la tabla 3.1 se muestran los criterios establecidos por IGRA para la naturación de una azotea verde.

**TABLA 3.1**

	NATURACIÓN EXTENSIVA	NATURACIÓN SEMI-INTENSIVA	NATURACIÓN INTENSIVA
Mantenimiento	Bajo	Periódicamente	Alto
Riego	No	Periódicamente	Regularmente
Vegetación	hierbas y pastos	hierbas y arbustos	Césped, arbustos y árboles
Sistema de acumulación	60 a 200 mm	120 a 250 mm	150 a 400 mm en garajes subterráneos > 1000 mm
Peso	60 a 150 kg / m <sup>2</sup> 13 -30 libras / pies cuadrados	25 a 40 lb / pies cuadrados	180 a 500 kg/m <sup>2</sup> 35 a 100 libras / pies cuadrados
Costos	Bajo	Medio	Alto
Uso	Capa de protección ecológica	Techo Verde diseñado	Parque como jardín

### 3.2 REQUISITOS MÍNIMOS PARA LA INSTALACIÓN DE UNA AZOTEA VERDE

Los requisitos previos para edificaciones nuevas y existentes, así como los parámetros de naturación tienen que estar basados en la normatividad vigente, en este caso es la Gaceta Oficial del Distrito Federal del 24 de diciembre del 2008 no. 491.

Las edificaciones nuevas y existentes sobre las que se deseé instalar una azotea verde deberán apearse a los siguientes requisitos:

- Impermeabilidad. Los sistemas de naturación deberán garantizar el impedimento del paso de agua a la estructura de la losa, y con esto evitar un estado de saturación sobre la misma.
- Resistencia y estabilidad. Con base en lo establecido en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y sus Normas Técnicas Complementarias (NTC), se tiene que garantizar la firmeza, seguridad,

comportamiento estático y estructural de todos los componentes de la azotea verde a instalar.

- Resistencia a la penetración por raíces. Se tiene que garantizar que las raíces no penetren la capa impermeabilizante, así como a la losa, evitando daños a la estructura y componentes de la edificación.
- Seguridad durante las maniobras. La colocación de los componentes de la azotea verde debe de realizarse con la mayor seguridad y equipo necesario, además debe de estar a cargo personal capacitado. También es necesario dejar los espacios requeridos para el mantenimiento, inspección y reparación de cualquier daño que pudiera suceder.

### 3.3 REQUISITOS PREVIOS PARA NUEVAS EDIFICACIONES

---

La instalación y diseño de una azotea verde en una edificación nueva, debe de ser considerada desde la etapa de planeación, para que de esta manera se considere en la memoria de cálculo. La azotea verde ser cuantificada en estado saturado, con una pendiente mínima del 5%; además de pretilos mayores a los 20 cm, chaflanes a 45° y 8 cm de altura mínima en uniones con elementos verticales.

La colocación de equipos necesarios para el edificio tales como tanques de gas, tinacos de agua entre otros, se tendrán que colocar con una altura mínima de 15 cm por encima de la última capa de la cubierta.

Las instalaciones, estructura, bajadas de agua y drenaje se tendrán que diseñar conforme lo marca el RCDF y las NTC en vigor, de este modo se asegura la capacidad para desalojar la totalidad del agua producto del riego y las precipitaciones pluviales sobre la cubierta. En todos los casos, sin excepción alguna, la cubierta tendrá que contar con rebosaderos, con una altura mínima de 5 cm sobre el nivel del sustrato. En la figura 3.1 se muestra un ejemplo de rebosadero.



**Fig. 3.1** Rebosadero

### 3.4 REQUISITOS PREVIOS PARA EDIFICACIONES EXISTENTES

Se tomarán como base 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 azotea.

En la tabla 3.2 se observan los valores de las cargas de representa cada tipo de naturación en estado saturado, estas deberán ser tomadas en cuenta. Por ningún motivo se tendrá que tomar el valor de la naturación en estado seco. La consideración del tipo de naturación quedará a evaluación y cálculo de la estructura por el Director Responsable de Obra DRO.

**TABLA 3.2**

TIPO DE NATURACIÓN	EXTENSIVA	SEMI-INTENSIVA	INTENSIVA
CARGA ADICIONAL	110 - 140 kg/m <sup>2</sup>	250 kg/m <sup>2</sup>	> 250 kg/m <sup>2</sup>

### 3.5 PARAMETROS DE NATURACIÓN

El peso de la superficie a naturar no deberá rebasar la carga máxima admisible determinada por el cálculo y evaluación de la estructura de la edificación en estudio. El diseño y la sobre carga deberán de ser realizados con base en lo establecido en el RCDF y las NTC. En la tabla 3.3 se muestran los parámetros para cada tipo de naturación, tabla tomada de la Gaceta Oficial del Distrito Federal no. 491

**TABLA 3.3**

PARAMETROS PARA CADA TIPO DE NATURACIÓN			
TIPO DE NATURACIÓN	EXTENSIVA	SEMI-INTENSIVA	INTENSIVA
ALTURA DE CRECIMIENTO DE PLANTAS	5 - 50 cm	5 - 100 cm	5 - 400 cm
DIAMETRO DE COPA	NO APLICA	NO APLICA	300 cm MÁXIMO
SUBSTRATO	10 - 15 cm	15 - 30 cm	> 40 cm
CARGA ADICIONAL	110 - 140 kg/m <sup>2</sup>	250 kg/m <sup>2</sup>	> 250 kg/m <sup>2</sup>
COBERTURA VEGETAL	CRASULÁCEAS	CRASULÁCEAS, PASTOS Y ARBUSTOS	CRASULÁCEAS, PASTOS, ARBUSTOS Y ÁRBOLES

### 3.6 PENDIENTE DEL TECHO

La inclinación del techo es un dato fundamental para el proceso de construcción, mantenimiento y elección del tipo de vegetación de la azotea verde, ya que al no contar con una adecuada pendiente se pueden producir diversos problemas, tal como la acumulación de agua, lo cual ahogaría a la vegetación.

El techo donde se va a instalar la azotea verde debe contar con una pendiente mínima del 5%, de no ser así, se tendrá que colocar un drenaje especial, evitando así los problemas antes descritos, sin rebasar el 40% de pendiente, ya que puede provocar el deslizamiento del sustrato si no se toman las medidas necesarias.

En la tabla 3.4 se da la equivalencia para pendientes de porcentajes a grados.

**TABLA 3.4**

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°

### 3.7 CONSIDERACIONES DE CARGA

La determinación de las cargas que inciden sobre la capa base es de suma importancia, ya que en las edificaciones existentes se debe tomar en cuenta los cálculos previos, y en los nuevos inmuebles en el diseño de la losa, es decir, la carga que se tomará en cuenta es igual al peso total del techo, el peso del sustrato en el estado de saturación y la vegetación. En cualquier caso debe evitarse el sobrepasar puntualmente la capacidad de carga admisible, ya sea por transporte de los elementos y materiales o por almacenaje de los mismos.

### 3.8 ALTURA DEL TECHO Y ORIENTACIÓN AL CIELO

La altura del techo y su orientación al cielo son características que se consideran de suma importancia debido a que influyen en la carga del viento y la radiación solar

sobre las plantas. Ya que la carga del viento sobre las plantas es directamente proporcional con la altura de la edificación.

La orientación e inclinación del techo influyen en la radiación solar, ya que acelera la evaporación del agua dentro de las plantas, por lo cual también influyen en su elección.

### 3.9 TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL SUSTRATO

---

Este apartado está enfocado al costo que se deriva del traslado y colocación del sustrato, además de la altura del techo, ya que en los techos ubicados a baja altura se pueden efectuar con una grúa de carga pequeña, o por medio del camión repartidor.

El material suelto, a granel generalmente, se transporta con la excavadora o por medio de un elevador con una carretilla para transportarlo al techo. El sustrato se tiene que colocar con mucho cuidado, ya que al no colocarlo adecuadamente, se pueden ocasionar problemas, tales como: deslizamiento del sustrato, espacios vacíos. También es importante verificar que el sustrato instalado corresponda con el especificado en el diseño.

### 3.10 DRENAJE

---

Dependiendo de varios aspectos como: el espesor, tipo de naturaleza e intensidad de la lluvia, las azoteas naturadas almacenan una parte importante de la precipitación anual, por ello es importante tener un buen sistema de drenaje, el cual se alimentará principalmente del sustrato, pero si lluvia es intensa y la capa del sustrato muy fina será mayor el caudal a drenar.

En la tabla 3.5 se muestran los porcentajes de desagüe de agua pluvial en las superficies de azoteas naturadas, es decir, el porcentaje expresado será el que no puede ser retenido por la vegetación, por ejemplo en el sistema de vegetación

extensivo el 30% de la precipitación es retenido por la vegetación, mientras que el 70% será desalojado y descargado al drenaje.

**TABLA 3.5**

TIPO DE NATURACIÓN	% DE DESAGÜE
Extensivo	Espesor mayor a 10 cm 30%, Espesor menor de 10 cm 50%
Semi-intensivo	40%
Intensivo	70%

Por lo tanto la capacidad de retención y acumulación de agua de la azotea naturada, tiene que ser ajustado a la precipitación promedio local.

Para tener control en la acumulación de agua se tiene que contar con cámaras de inspección, esto como medida de seguridad. En la figura 3.2 se muestra una cámara de inspección.



**Fig. 3.2 Cámara de inspección**

### 3.11 CONTROL DE PLAGAS

Es de suma importancia mantener libre de plagas las áreas verdes a naturar, ya que, representaría una gran derrama económica la fumigación de dicha área, además del peligro que representa el posible brote de cualquier tipo de plaga. Para evitar y controlar de manera adecuada la infección de la vegetación, la Secretaría del Medio



Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) propone realizar las siguientes recomendaciones:

- Mantén bien podadas tus plantas y libres de maleza o malas hierbas para evitar las plagas.
- Limpia frecuentemente tu jardín cortando las hojas y flores secas o enfermas, y retira las frutas u hortalizas caídas o muy maduras para prevenir plagas.
- Evita el uso de insecticidas químicos, pues éstos contienen contaminantes que modifican la estructura de los suelos.
- Algunos animales como el ciempiés, ayudan a eliminar las plagas, pues se alimentan de insectos que son perjudiciales para las plantas

### 3.12 PREVENCIÓN DE INCENDIOS

---

La prevención de incendios es fundamental en las azoteas verdes con naturación intensiva, ya que es la que presenta mayor densidad de vegetación. Por esta razón se debe de tener el mayor cuidado en época de sequia, ya que al secarse la vegetación puede producir un incendio debido a que se convierte en un material seco y por ende inflamable. Un ejemplo es, si el techo naturado cuenta con tragaluces, se necesita instalar la vegetación aproximadamente a 500 mm o 20 pulgadas de distancia.

### 3.13 PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

---

Para evitar accidentes al subir a una azotea es fundamental colocar elementos de protección, tales como barandillas, andamios o redes, así como cuerdas y cadenas. En la figura 3.2 se muestra el aspecto que tiene una barandilla como elemento de protección.



### 3.14 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA AZOTEA VERDE

---

Una vez instalada la azotea verde, se debe de garantizar el funcionamiento correcto, para así obtener el mayor tiempo de vida útil, de esto la importancia de realizar las tareas de operación y mantenimiento de forma adecuada para todos los elementos que la conforman.

Para llevar a cabo la operación y mantenimiento de una azotea verde se recomienda:

- Revisión y limpieza de los elementos de desalojo de agua (drenaje).
- Revisión visual de todas las capas y elementos de la azotea verde, principalmente la capa anti-raíz y la impermeabilización.
- Mantenimiento de la vegetación. Se deberá podar con un mínimo de 2 veces por año.
- Riego. Se tiene que considerar el tipo de riego ya sea por goteo, regadera de jardinería, aspersión, y en ocasiones, con la captación de aguas pluviales después de un tratamiento, considerando la época del año.
- Abono. Se deberá suministrar el abono pertinente para cada tipo de naturación.

Cada uno de los criterios antes descritos son de suma importancia, pero uno fundamental es el soporte base, ya que si este falla de igual forma los componentes de la azotea verde, por lo cual en el siguiente capítulo se dan a conocer de manera detallada cada elemento de una azotea verde.

# IV. ELEMENTOS QUE INTEGRAN A UNA AZOTEA VERDE

---

---

## 4 ELEMENTOS QUE INTEGRAN A UNA AZOTEA VERDE

---

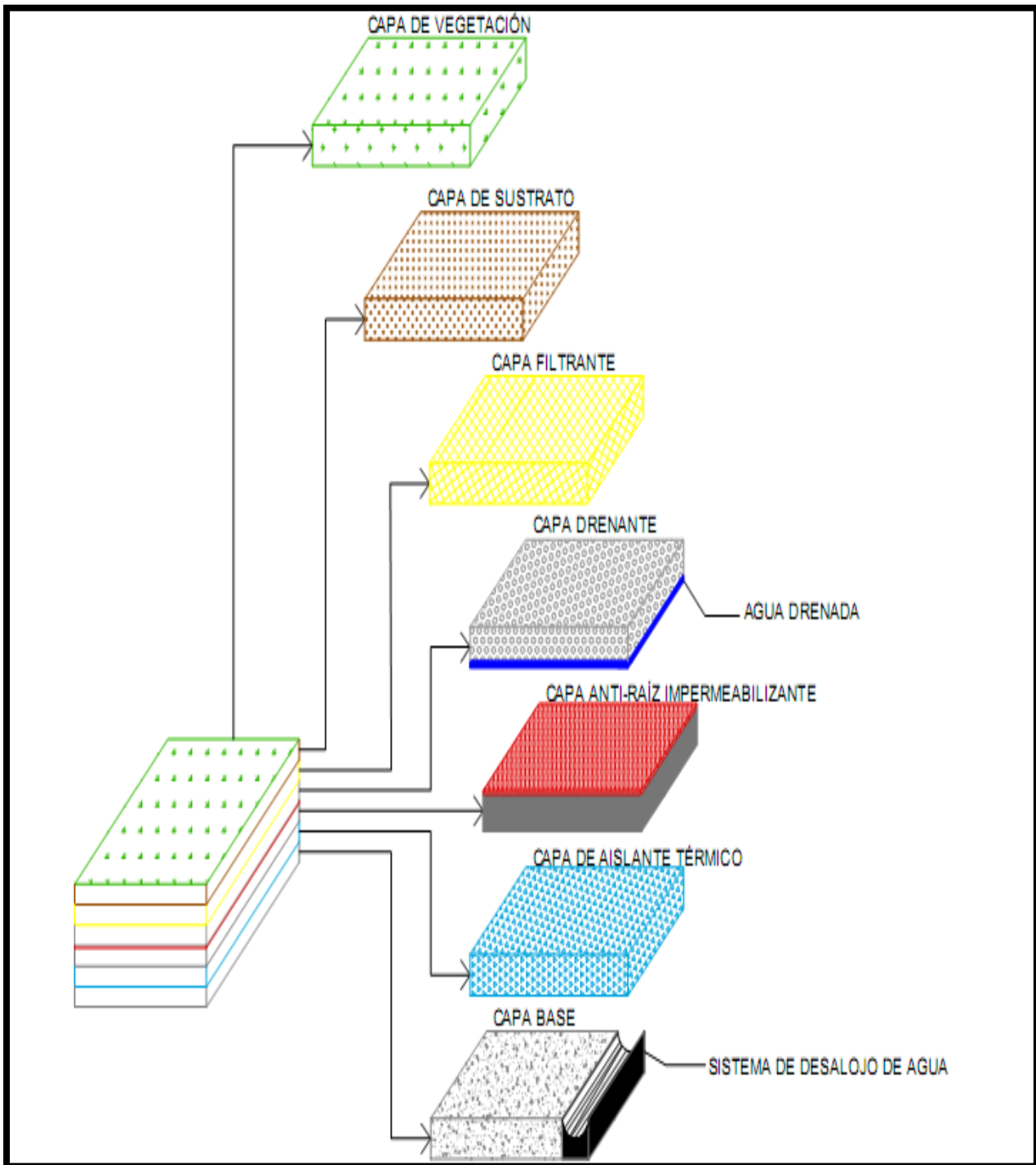
En este capítulo se explicarán de manera detallada cada uno de los elementos que integran a una azotea verde, existen diferentes formas de instalación. En este capítulo se describe la estructuración de una azotea verde con la mayor cantidad de elementos que pueden ser instalados.

La azotea verde es un sistema integral conformado por varias capas de diferentes materiales, dispuestos para proteger el inmueble contra daños por la exposición al medio ambiente y a su vez promover el crecimiento de vegetación. El instalar una azotea verde reemplaza cualquier acabado que pudiera tener la azotea.

La instalación de cualquier tipo de naturación debe de iniciar con la determinación de la factibilidad estructural y terminar con la instalación de la vegetación, contando con un diseño especial para cada edificación. También se debe tener en cuenta el tipo de región donde se encuentra la edificación.

Una azotea verde está compuesta por las siguientes capas, el orden en que se en listan es de manera ascendente, es decir, de la parte inferior a la superior durante el proceso de instalación. En la figura 4.1 se muestra con mayor detalle la estructura general de una azotea verde.

- Soporte estructural
- Sistema de desalojo de agua
- Aislante térmico
- Membrana anti-raíz, impermeabilizante
- Capa drenante
- Capa filtrante
- Capa de sustrato
- Capa de vegetación



**Fig. 4.1** Capas que integran una azotea verde

## 4.1 SOPORTE ESTRUCTURAL

Este es constituido por elementos estructurales, tales como vigas y el armado de la losa, los cuales están adaptados para conectarse entre sí, teniendo como función soportar su propio peso, así como a los elementos arquitectónicos, cargas vivas, capas y muebles. Estos elementos serán tomados como cargas vivas y muertas en la edificación. En la figura 4.2 se muestra un ejemplo de soporte estructural de una azotea verde. Para mayor detalle, se muestra el diseño de un soporte estructural específicamente una losa en el capítulo 6 titulado "Metodología para la revisión estructural de una losa."



**Fig. 4.2 Soporte estructural**

La instalación de una azotea verde se puede llevar a cabo sobre casi cualquier soporte estructural, siempre y cuando no se rebase la capacidad de carga admisible.

Los materiales más comunes para realizar el soporte estructural son:

- Concreto reforzado
- Elementos prefabricados de concreto
- Madera
- Mortero
- Láminas y cubiertas prefabricadas

El diseño del soporte estructural deberá realizarse conforme lo marca el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF) y las Normas Técnicas Complementarias (NTC) esto para garantizar la estabilidad de la azotea verde.

Una parte fundamental del soporte estructural es la pendiente de la azotea, esta debe contar con una pendiente mínima del 5% o máxima del 40%, tal como se señala en el capítulo "3.-Criterios de diseño" en el subtítulo "Pendiente del techo".

## 4.2 SISTEMA DE DESALOJO DE AGUA

---

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

## 4.3 AISLAMIENTO TÉRMICO

---

La capa de aislante térmico tiene como función disminuir la temperatura del inmueble en época de verano y elevar la temperatura del inmueble 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 4.3 se muestran algunos de estos aislantes.



**Fig. 4.3 Aislantes térmicos**

#### 4.4 MEMBRANA ANTI-RAÍZ- IMPERMEABILIZANTE

La colocación de la membrana anti-raíz impermeabilizante es necesaria, ya que tiene como función evitar el paso de agua que puede filtrarse de la capa drenante, así como evitar el paso de la raíz al aislante térmico y posteriormente al soporte estructural.

Esta membrana deberá de contar en su totalidad con las siguientes características:

- Resistencia al punzonamiento
- Resistencia a tensión
- Estabilidad en cada una de sus direcciones
- Resistencia ante microorganismos
- Resistencia a cambios de temperatura
- Resistencia a los rayos ultravioleta

La membrana anti-raíz impermeabilizante tiene que ser certificada por un organismo competente y reconocido, como por ejemplo AMENA. Además la membrana debe contener un acabado superior, el cual le ayudará a incrementar su resistencia anti-punzonante.

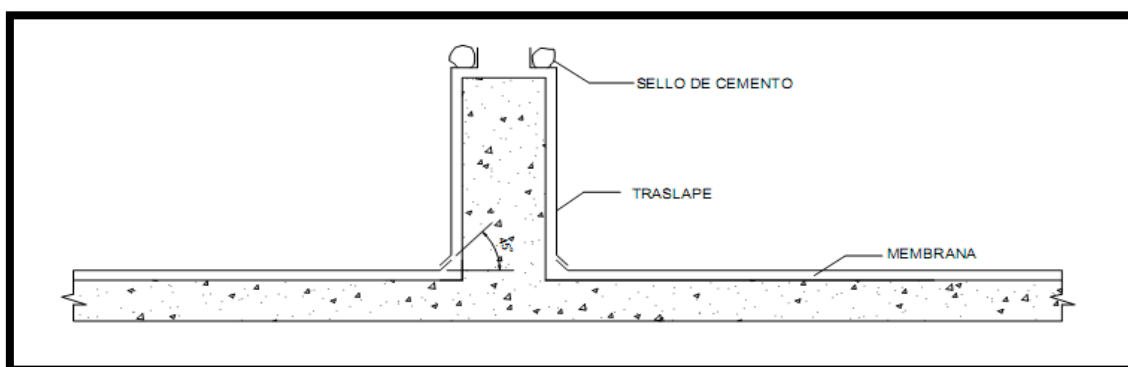


Existen varios tipos de membrana anti-raíz, tales como:

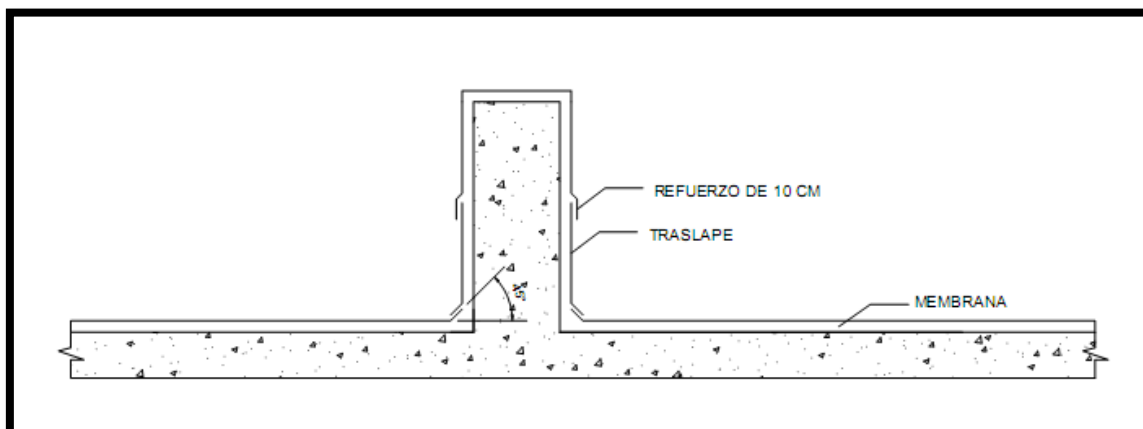
- Bituminosa, la cual debe contar con un espesor mínimo de 4 milímetros y un refuerzo de poliéster de 180 gramos por metro cuadrado.
- PVC, Hypalon, propileno, etileno, mismos que deberán de contar con un espesor mínimo de 1.2 milímetros, y deberán de contar con 2 capas antipunzonantes.
- Polietileno, el cual cuenta con alta resistencia, pero no en uniones.
- Tela con revestimiento de poliolefino, el cual es mayormente aceptado por los ecologistas ya que no contiene ablandadores ni halógenos, por estas características es más caro que el PVC y más difícil de colocar.

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 correcto desalojo del 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 figura 4.4. 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 10cm sobre el chaflán, y dando un remate sobre la capa como se muestra en la figura 4.5.

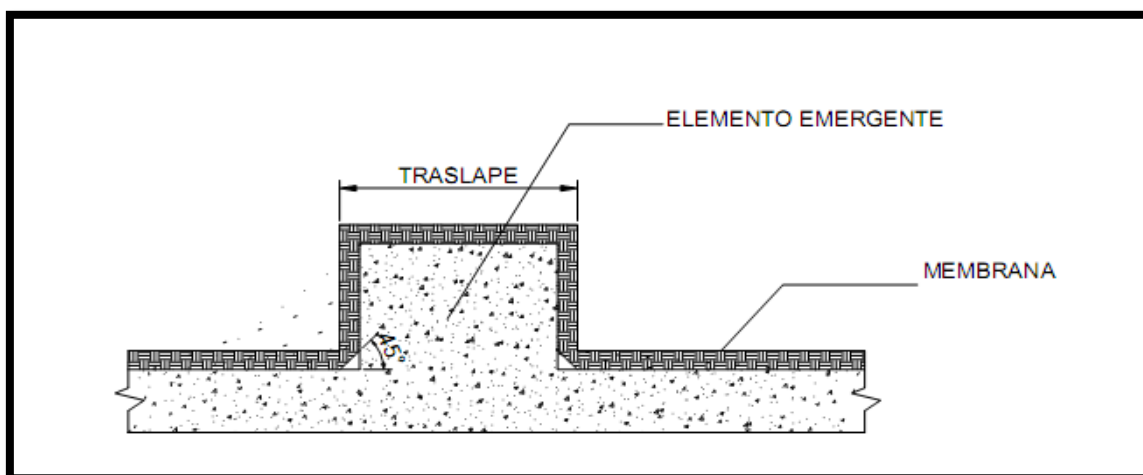


**Fig. 4.4 Uniones con muretes**



**Fig. 4.5 Refuerzo de la membrana anti-raíz impermeabilizante**

Debido a un mal diseño no siempre se pueden colocar los 10 cm por encima de la capa de sustrato, si es el caso, será necesario colocar un elemento emergente intermedio, y la membrana se colocará del lado contrario de forma descendente, como se muestra en la figura 4.6. Pero deberá de seguir contando con los requisitos descritos en el párrafo anterior.

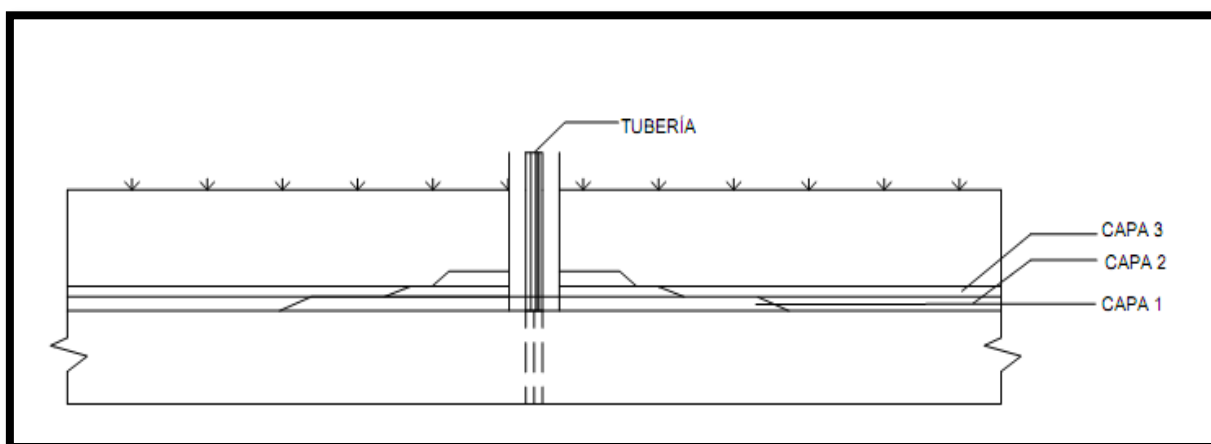


**Fig.4.6 Elemento emergente**

La colocación de la membrana anti-raíz impermeabilizante en puntos de encuentro con tubos debe realizarse de la siguiente manera:

- 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 hace un 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.



**Fig. 4.7 Tubería**

#### 4.4.1 ESTANQUIDAD DE LA MEMBRANA ANTI- RAÍZ IMPERMEABILIZANTE

El evitar el paso del agua es fundamental en el proceso de instalación de todas las capas, para comprobar que no existan filtraciones al soporte base se realiza un proceso en el cual se llevan a cabo los siguientes pasos:

- Limpiar perfectamente toda la superficie.
- Revisión visual sobre toda la superficie
- Colocar una columna de agua de 10 cm sobre la cubierta durante 48 horas tapando el sistema de desalajo de agua, de esta manera de tendrá el control de si se estanca o se filtra.

Cualquier anomalía que se llegara a presentar se deberá hacer por escrito y hacer llegar al proveedor.

#### 4.4.2 PROTECCIÓN DE LA MEMBRANA ANTI-RAÍZ IMPERMEABILIZANTE

---

La protección de la membrana anti-raíz impermeabilizante puede ser llevada a cabo por diferentes elementos, tales como: sustrato, grava y losas; las cuales deben ser estables y resistentes, además se puede colocar solo una de estas protecciones o en combinación. A continuación se describen los tipos de protección:

- Protección con sustrato. El sustrato en baja cantidad será colocado por encima de la membrana anti-raíz impermeabilizante, después la capa drenante, capa filtrante, capa de sustrato y por último la vegetación.
- Protección con grava. La grava se colocará en zonas sin vegetación y en azoteas con pendientes menores al 5%. La grava a colocar debe ser cribada con un diámetro mínimo de 12 milímetros, formándose espesores de 5 centímetros como mínimo.
- Protección con losas. Estas se utilizan en zonas sin vegetación utilizando mortero como capa complementaria, extendida por toda la membrana anti-raíz. También se le colocará una capa de protección antipunzonantes entre los soportes y la membrana.

#### 4.5 CAPA DRENANTE

---

Esta capa se encuentra por encima de la membrana anti-raíz impermeabilizante y por debajo de la capa filtrante. Tiene como función recibir el agua producto de precipitaciones, así como el agua excedente de toda la superficie naturada, además de que sirve para almacenar bajas cantidades de agua.

Esta capa debe tener la capacidad de desalojar un mínimo de 2 litros de agua por minuto por cada metro cuadrado, dicha capa está ligada con el tipo de naturación a instalar, por ejemplo: si se instala una naturación extensiva la capacidad de la capa drenante será poca por ser mínima su vegetación. En la figura 4.8 se muestra una capa drenante.



**Fig. 4.8 Capa drenante**

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.

La capa drenante puede ser conformada por uno o algunos de los siguientes materiales:

- Láminas de fibra sintética
- Mallas plásticas
- Placas drenantes de polietileno
- Placas drenantes de poliestireno

Las características que requiere esta capa son:

- Una estructura duradera y estable
- Estabilidad física y química (ser compatible con las otras capas)
- Estabilidad en su función y forma

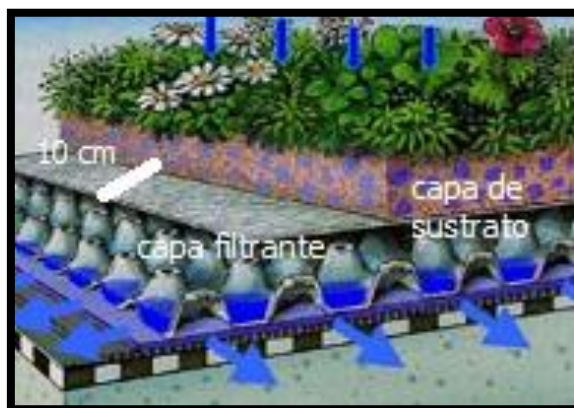
#### 4.6 CAPA FILTRANTE

---

La capa filtrante es colocada por encima de la capa drenante, de esta manera ayuda a separarla del sustrato, dicha capa tiene como función principal el retener partículas

pequeñas de material inorgánico y orgánico, de esta manera el agua puede fluir libremente hacia la capa drenante y así tener un funcionamiento adecuado. En la figura 4.9 se muestra una capa filtrante.

La colocación de esta capa debe de realizarse con un traslape mínimo de 15 cm sobre la capa drenante y con una longitud 10 cm mayor que el sustrato, quedando como una banda lateral.

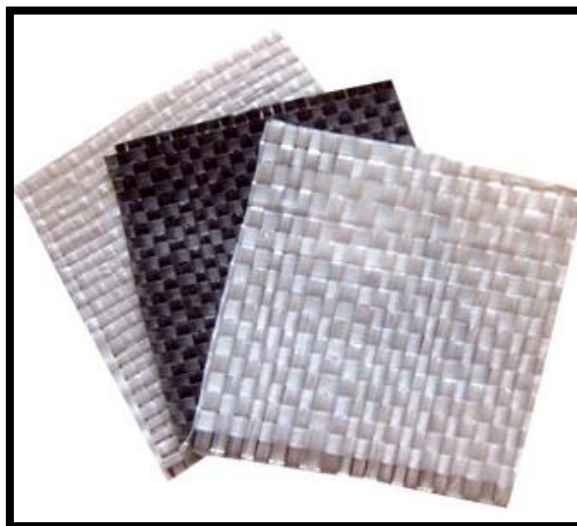


**Fig. 4.9 Capa filtrante**

Una capa filtrante tiene que contar con las siguientes características:

- Permeabilidad 10 veces mayor que la del sustrato
- Permitir el crecimiento de la raíz
- Resistencia a la tensión y compresión
- Resistencia ante microorganismos
- De estructura duradera y estable
- Resistencia a la putrefacción
- Resistente a diferentes climas (resistencia a la intemperie)
- Resistencia a pH elevados

Los materiales más utilizados son los geotextiles del tipo tejido. En la figura 4.10 se muestran dichos materiales.



**Fig. 4.10 Geotextiles**

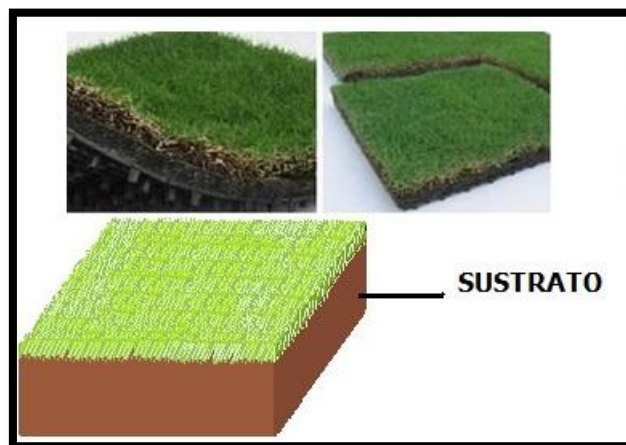
Esta capa debe cumplir con un peso mínimo de 200 gramos por metro cuadrado, y permitir el paso de 2 litros de agua por minuto por cada metro cuadrado.

#### 4.7 CAPA DE SUSTRATO

---

La capa de sustrato es la penúltima del sistema de azotea verde, la cual está diseñada para soportar la vegetación, siendo esta capa directamente proporcional al tipo de naturación a instalar, teniendo como factores las condiciones microclimáticas, como la topografía, temperatura, humedad, luz y cobertura vegetal, evapotranspiración. Ésta capa cuenta con el requerimiento, que sin importar el tipo de naturación a instalar, el sustrato debe tener como mínimo 10 cm de espesor.

Esta capa ayuda a la retención de agua y aportación de nutrientes requeridos para el crecimiento de las plantas, siendo esto de vital importancia para el crecimiento y conservación de la naturación.



**Fig. 4.11 Capa de sustrato**

La disponibilidad de recursos económicos dicta la instalación de esta capa, ya que se puede instalar de dos formas diferentes, dichas formas son:

- Monocapa. Esta capa suprime la capa drenante y hace la función de las 2, es decir, capa drenante y capa de sustrato en una.
- Bicapa. Esta capa tiene por separado la capa de sustrato y la capa drenante, es decir cada capa realiza su función correspondiente.

El sistema de monocapa es recomendable en losas que tienen una pendiente pronunciada es decir, igual o mayor al 40% esto para evitar el deslizamiento del sustrato. Pero para que cumpla con las funciones de capa drenante y capa de sustrato se divide en dos zonas las cuales son:

- Zona 1. Esta será la parte superior de la monocapa, la cual contará con 2 porciones de materia orgánica y minerales por una porción de material de drenaje.
- Zona 2. Esta será la parte inferior de la monocapa. Esta zona se proporciona de manera inversa de la zona 1, es decir, por cada porción de materia orgánica y minerales se tendrán 2 porciones de drenaje.

La capa de sustrato puede estar constituida por algunos de los siguientes materiales:

- Mezcla de minerales ya sea con o sin materia orgánica.
- Minerales porosos ya sea: piedra pómez, arcilla expandida.



- Tejidos industriales en placas, por ejemplo lana de roca mineral. Mostrada en la figura 4.12.



**Fig. 4.12 Lana de roca mineral**

Existen materiales que ayudan a mejorar las características de la capa de sustrato, algunos de estos son:

- Productos de retención de agua
- Fertilizantes orgánicos
- Minerales de lenta liberación
- Camas de materia orgánica
- Partículas minerales porosas de buena estabilidad
- Productos fijadores.

Para brindar el soporte y los nutrientes a la vegetación, la capa de sustrato tendrá que contar con las siguientes características:

- Mezcla homogénea
- Contener materia orgánica y minerales
- Alcalinidad
- Contener caliza activa
- Salinidad
- Capacidad de intercambio catiónico
- Buena compactación
- Capacidad de retención de agua
- Estabilidad de cada una de sus propiedades
- Libre de patógenos vegetales.

Otros aspectos a considerar dentro de esta capa son los siguientes: garantizar que la capa es lo más ligera posible, satisfacer las necesidades de la vegetación, así como que la descomposición biológica que se presente sea mínima, por lo que esta capa deberá de estar conformada mayormente por materiales inorgánicos.

En el capítulo 5 "Criterios de diseño de una azotea verde" particularmente en el subcapítulo "Tipos de naturación", se explican los 3 tipos de naturación que existen, para cada tipo de éstos la capa de sustrato es diferente. En la tabla 4.1 se observa la configuración de cada capa de sustrato en función de su naturación.

**TABLA 4.1**

TIPO DE NATURACIÓN	MATERIAL POROSO	DIÁMETRO
Extensiva	Mínimo el 70%	3.2 mm
Semi-intensiva	Entre el 60% y 90%	3.2mm
Intensiva	Mínimo el 50%	3.2 mm

La capa de sustrato debe de protegerse ante vientos intensos y erosión, ya que de no ser así no podrá realizar su función de forma correcta.

#### 4.8 CAPA DE VEGETACIÓN

Por último se encuentra la capa de vegetación, en la cual se van alojar las plantas determinadas por el tipo de naturación a instalar. Para elegir correctamente la vegetación se deben considerar los siguientes criterios:

- Inclinación del techo. Este aspecto ayuda a la determinación del sistema de desagüe, así como la capa de sustrato.
- Exposición al viento. Se debe de considerar al momento de escoger la vegetación a instalar, la cual debe de resistir los vientos de la localidad.
- Espesor del sustrato. Dependerá de la vegetación y tipo de naturación a instalar.
- Orientación al cielo. Esto definirá la cantidad de evapotranspiración que realice la vegetación instalada en la azotea verde.

- Períodos de sequía. La vegetación debe de tener una buena capacidad de retención de agua para evitar el deterioro de la naturación instalada.
- Gastos de mantenimiento. Este aspecto es fundamental, el instalar una azotea verde no es sólo la instalación, sino que debe de realizarse un mantenimiento programado, para que se conserve de manera correcta y pueda brindar todos los beneficios correspondientes.
- Aspecto visual. Este es directamente proporcional al mantenimiento, al dar un mantenimiento correcto se tendrá un agradable aspecto visual, pero a falta de mantenimiento tendrá un aspecto deplorable.

---

#### 4.8.1 CAPA DE VEGETACIÓN EXTENSIVA

---

Se refiere a la implementación de plantas de tipo comunes y fáciles de conseguir, esta naturación deberá contar con un espesor entre 3 hasta 15 cm, a este tipo de vegetación no es necesario suministrarle nutrientes ni gran cantidad de agua, por lo que debe tener buena capacidad de retención.

En la figura 4.13 se muestra un ejemplo una azotea verde extensiva, en la cual se nota que es poca la vegetación instalada sobre ella.



**Fig. 4.13 Naturación extensiva**

Ejemplo de plantas de vegetación extensiva se muestran en la figura 4.14.



**Ceratodon purpurelis**



**Campothecium sericeum**



**Syntrichia ruralis**



**Schistidium apocarpum**



**Barbula convoluta**



**Bryum argenteum**

**Fig. 4.14 Plantas de naturación extensiva**

#### 4.8.2 CAPA DE VEGETACIÓN SEMI-INTENSIVA

Este tipo de configuración puede estar integrada por una gran variedad de especies, tales como pastos, arbustos, lo cual depende directamente del nivel de mantenimiento que se brinde a la vegetación. En la figura 4.15 se muestra un ejemplo de azotea verde del tipo semi-intensiva, misma en la que se observa, poca vegetación, además de tener un nivel de altura de la vegetación intermedio.



**Fig. 4.15 naturación semi-intensiva**

En la figura 4.16 se muestran algunas de las plantas de la naturación semi-intensiva.

#### Suculentas



**Sedum acre**



**Sedum album**



**Sedum cauticola**

**Liliaceas:**



**Allium atropurpureum**

**Allium flavum var. minus**

**Allium montanum**



**Allium oreophilum**



**Allium schoenoprasum**

**Gramineas:**



**Bromus tectorum**



**Carex humilis**



**Carex ornithopoda**



**Festuca punctoria**

**Fig. 4.16 plantas de naturación semi-intensiva**

---

### 4.8.3 CAPA DE VEGETACIÓN INTENSIVA

---

En este tipo de configuración de la capa de vegetación, se puede colocar una gran variedad de especies de flora, además es necesario realizar un alto nivel de mantenimiento, así como un gran suministro de agua, también se debe cumplir con las siguientes características:

- Resistencia al viento. Deben de tener una buena raíz y tallo para evitar el desprendimiento de la capa de sustrato, esto en época de vientos fuertes.
- Resistencia a niveles de contaminación y temperaturas urbana. La vegetación debe de ser capaz de resistir los cambios de temperatura.
- Resistencia a radiaciones solares extremas. Las plantas a instalar deben de contar con filtros para evitar que se marchiten rápidamente.

Se debe de considerar el clima de la zona para poder determinar el tipo de flora a instalar, ésta no debe de rebasar los 400 centímetros de altura.

En este tipo de configuración las plantas más utilizadas son las vivaces, leñosas y superficies de césped parecidas a las que se encuentran en zonas rurales, mismas que consumen gran cantidad de agua y nutrientes. Estas necesitan un espesor mayor a 30 cm de sustrato. En la figura 4.17 se muestra un ejemplo de una azotea verde intensiva, misma en la que se observa una azotea verde instalada con una fuerte

pendiente, además de notarse una altura elevada de la naturación. En la fig. 4.18 se muestran algunas de estas plantas.



**Fig. 4.17 Naturación intensiva**

Ejemplos de plantas que pueden ser parte de vegetación extensiva son:



**Festuca rubra genuina**

**Festuca ovina**

**Festuca glauca**



**Festuca scoparia**

**Poa pratensis angustifolia**

**Carex flacca**



- Festuca rubra commutata
- Poa pratensis
- Bromus erectus
- Carex humilis
- Stipa pennata
- Stipa ucrainica



**Fig. 4.18 Plantas de naturación intensiva**

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

#### 4.9 NATURACIÓN CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS O FOTOTÉRMICOS

Para llevar a cabo una naturación correcta en azoteas que cuenten con sistemas fotovoltaicos o fototérmicos se deberán de tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- Las celdas de captación solar deberán ser colocadas 20 cm por encima de la capa de vegetación.
- Los soportes deberán de ser forrados como se indicó en descripción de la membrana anti-raíz impermeabilizante.

- Se debe colocar, como se muestra en la figura 4.19, a una distancia considerable de la vegetación, y así para evitar que produzca sombra sobre las celdas solares.



**Fig. 4.19 Azotea verde con sistema fotovoltaico**

#### 4.10 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 y disfrutar de una estadía en la misma. En la figura 4.20 se muestra una azotea verde con acceso.



**Fig. 4.20 Azotea verde con accesos**

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

# V. IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EDIFICACIONES

---

---

## 5 IMPACTO AMBIENTAL DE LAS EDIFICACIONES

---

La realización de las actividades antropogénicas ha provocado un importante impacto en el ambiente. La construcción es una de las mayores consumidoras de los recursos naturales así como una de las causantes principales de la contaminación atmosférica, por lo tanto se deben construir inmuebles sustentables, tales como las edificaciones con azoteas verdes, ya que representan una opción para compensar la destrucción de áreas verdes.

El ingeniero civil tiene la misión de proporcionar una mejor vida, es decir, brindarle comunicación entre poblaciones, abastecimiento de agua potable, drenaje, casa habitación, entre otras. Pero al realizar todas estas actividades, se han destruido grandes cantidades de vegetación.

Como consecuencia de esto, al tener tantas edificaciones el agua debida a las precipitaciones, tiene un menor tiempo de almacenamiento, es descargada directamente al drenaje e interrumpe su ciclo natural de evaporarse o infiltrarse al subsuelo, este aspecto, es decir, el suelo, ha sido perjudicado ya que al carga no natural, deforma el suelo y lo compacta.

Pero sin lugar a dudas, los aspectos más afectados por la edificación son: la flora, fauna y atmosfera. Esto por la tala inmesnsurada de los bosques así como edificar en zonas de vegetación.

Al edificar en zonas de, .vegetación, se reduce la calidad del aire, al igual que la fauna, ya que se elimina por completo su hábitat natural. lo cual conlleva la interrupción de las cadenas alimenticias.

La afectación que sufre la atmosfera es más compleja, ya que en este aspecto intervienen los ciclos biogeoquímicos, los cuales son afectados por la gran cantidad de edificaciones que existe, lo cual provoca que no se realicen de forma natural.

. En el siguiente subcapítulo se detallan los ciclos biogeoquímicos así como la función que representan las azoteas verdes, dentro de estos ciclos.

## 5.1 CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

---

Al movimiento cíclico de los elementos que forman los organismos biológicos, así como al ambiente geológico, y que además presentan un cambio químico se denominan ciclos biogeoquímico, es decir, el intercambio de las sustancias químicas entre formas bióticas y abióticas.

Las actividades antropogénicas han hecho que los ciclos biogeoquímicos no se realicen de manera correcta y fuera de su ciclo natural, tal como cita Michel Hermelón *"...pareciera que la naturaleza tuviera dos caras, como el antiguo dios romano Janos: La cara sonriente, a la que hay que proteger y la cara amenazante, contra la que hay que protegerse,...pero las dos son caras del mismo ente, y los ritos realizados ante cualquiera de los dos rostros tendrán consecuencias sobre el otro..."*.

Los elementos de los ciclos biogeoquímicos están en constante interacción, pero al encontrarse en condiciones anormales (edificaciones) a su ciclo natural, pasan por cambios o alteraciones que no son totalmente capaces de absorber por la falta de adaptación. Esto puede generar una serie de reacciones negativas en cadena, lo cual resultaría en un desastre natural.

Con la instalación de azoteas verdes, se busca aminorar las condiciones anormales en los ciclos biogeoquímicos, y de esta forma tratar de que vuelvan a su ciclo natural.

---

### 5.1.1 FOTOSÍNTESIS

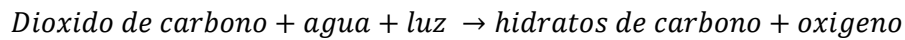
---

Se le conoce como fotosíntesis al proceso de transformar la energía luminosa en química, lo cual hace que la materia inorgánica se convierta en materia orgánica. Esto se lleva a cabo mediante los estomas de las hojas de las plantas, ya que estos absorben los gases de la atmósfera (dióxido de carbono), y al entrar en combinación con el agua que contienen en su interior de las plantas, se forman almidones nutritivos para la planta, y de esta manera se libera el oxígeno al exterior. A los seres vivos que realizan esta función se les denomina fotoautótrofos.

Los fotoautótrofos contienen organelo en su organismo, al cual se le denomina cloroplasto, el cual está encargado de llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis, en el cloroplasto se encuentran las clorofilas, las cuales captan la luz del exterior y la

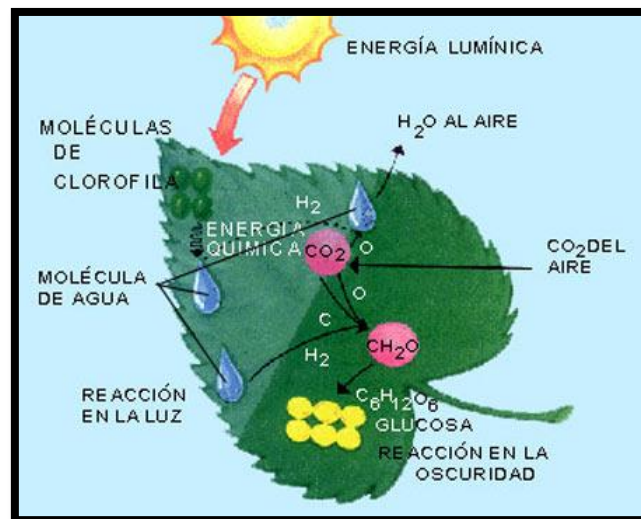
almacenan en moléculas orgánicas, a esta parte del proceso se le conoce como fase luminosa. Al término de esta fase, se inicia con la fase oscura, la cual ocurre en el estroma, el cual asimila las moléculas de dióxido de carbono de la atmosfera, las cuales serán utilizadas para producir hidratos de carbono, lo cual después de convertita en almidón, y será utilizado para el desarrollo, crecimiento y reproducción de la planta.

El proceso de la fotosíntesis se puede resumir en la ecuación 5.1.



Ecuación 5.1

En la figura 5.1 se muestra el proceso de la fotosíntesis.



**Fig. 5.1 Proceso de la fotosíntesis.**

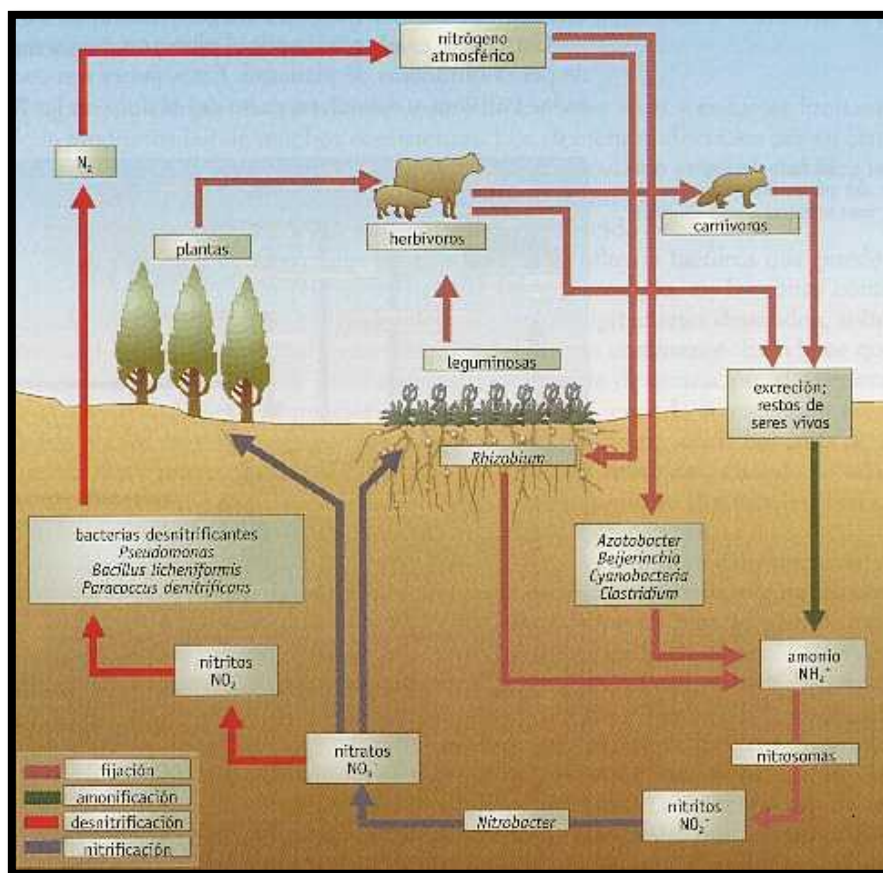
### 5.1.2 CICLO DEL NITRÓGENO

El ciclo del nitrógeno es de suma importancia para algunos seres vivos, los cuales lo utilizan para sintetizar proteínas. Existe una gran reserva de nitrógeno en la atmósfera, ésta se encuentra en forma de N<sub>2</sub>. Dicha molécula solo puede ser absorbida por algunas bacterias y algas cianofíceas. Este tipo de bacterias y algas son parte fundamental del ciclo ya que transforman el N<sub>2</sub> en diferentes variaciones tales como, nitrato y amonio, dichas variaciones son asimilables por la vegetación. De esta manera las plantas instaladas en la azotea verde pueden absorber el nitrógeno, y así la fauna

que se encuentre en la azotea verde al comer de las planta, se alimenta de los nutrientes básicos, para que de esta manera el ciclo del nitrógeno puede continuar de forma correcta.

A pesar de la renovación del nitrógeno a través del ciclo existente, este elemento en algunas ocasiones es escaso y por lo tanto la producción de ecosistemas se ve limitada considerablemente, de aquí surge la importancia de preservar el ciclo del nitrógeno, así como acondicionar espacios para facilitar la realización de dicho ciclo.

En la figura 5.2 se muestra el ciclo del nitrógeno.



Fuente: ECOSISTEMAS  
 Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1994 Revista Trimestral

**Fig. 5.2 ciclo del nitrógeno**

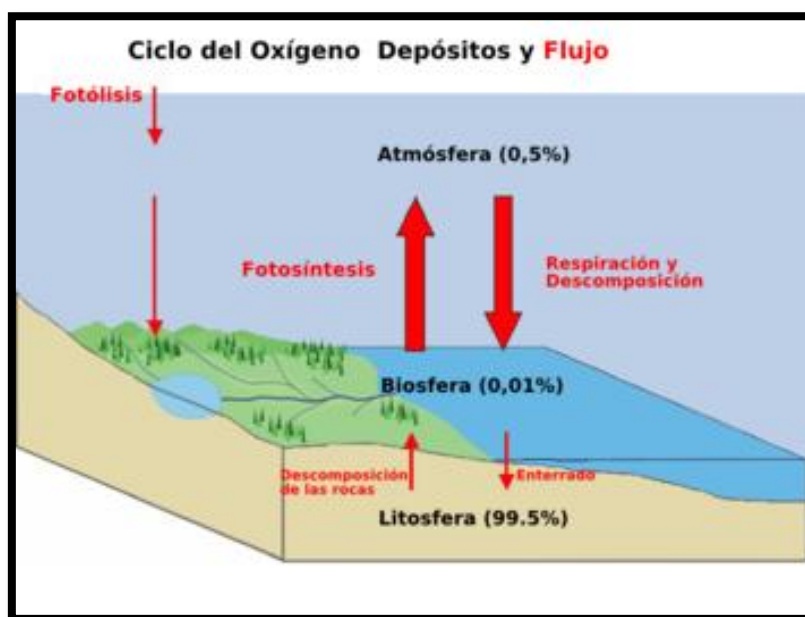


### 5.1.3 CICLO DEL OXÍGENO

El oxígeno molecular ( $O_2$ ) representa cerca del 21% de la atmósfera terrestre, teniendo como propósito el abastecer las necesidades de los organismos terrestres y marinos, como respirar y la fotosíntesis, este último proceso ayuda a reducir las moléculas de dióxido de carbono a carbohidratos y al final producir el oxígeno molecular, para que de esta forma se complete el ciclo.

Por cada molécula de dióxido de carbono absorbida en la fotosíntesis, es liberada una molécula de oxígeno, en la figura 5.3 se muestra el ciclo del oxígeno.

Las azoteas verdes contribuyen favorablemente al ciclo del oxígeno, ya que al realizarse el proceso de la fotosíntesis por parte de las plantas instaladas en cualquier azotea verde, ayudan a liberar moléculas de oxígeno, y de esta manera el ciclo podrá realizarse de manera más natural.



Fuente: ECOSISTEMAS

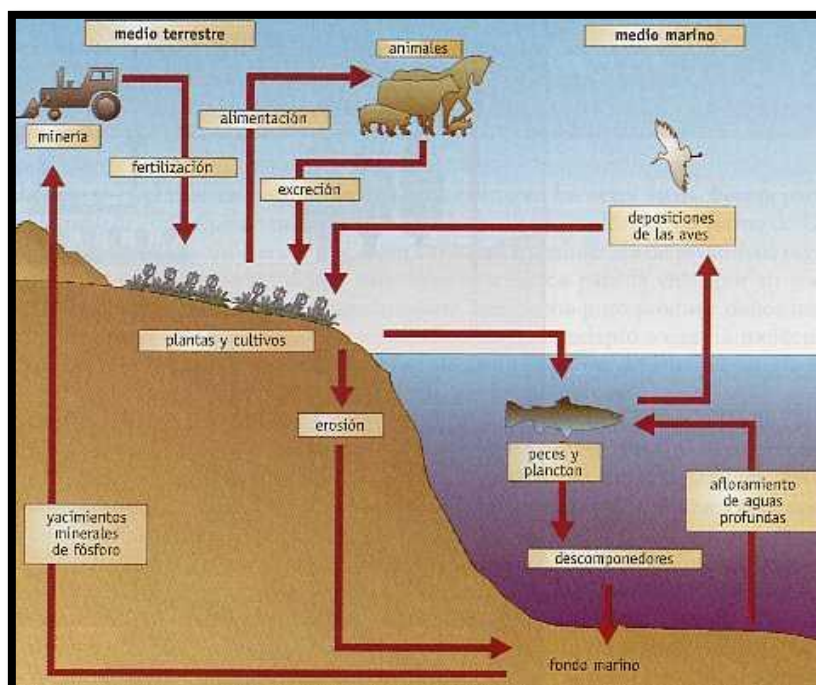
Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1994 Revista Trimestral

**Fig. 5.3 ciclo del oxígeno**

### 5.1.4 CICLO DEL FÓSFORO

Este ciclo biogeoquímico, a diferencia de los otros es mucho más simple, ya que el fósforo no cuenta con transformaciones que simplifiquen la transferencia del medio acuático o del medio terrestre a la atmósfera. Por lo tanto la única forma de obtener este valioso elemento es extraerlo de forma directa, ya sea por la continuidad de la cadena alimenticia que surge de los ecosistemas marinos, o bien existe la posibilidad del levantamiento geológico lento de los sedimentos del océano para formar tierra firme, un proceso medido en millones de años. Otra forma en la que el fósforo puede retornar al medio terrestre es por medio de la extracción de este elemento de rocas fosfatadas para la realización de fertilizantes, al utilizar estos fertilizantes la vegetación puede absorber el fosforo, en este caso será absorbida por las plantas instaladas en la azotea verde. En la figura 5.4 se muestra esquemáticamente el ciclo del fósforo.

El fósforo es un elemento esencial para los seres vivos, los procesos de la fotosíntesis de las plantas, como otros procesos químicos de los seres vivos no pueden ser realizados en ausencia de ciertos compuestos basados en el fósforo.



Fuente: ECOSISTEMAS  
 Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1994 Revista Trimestral

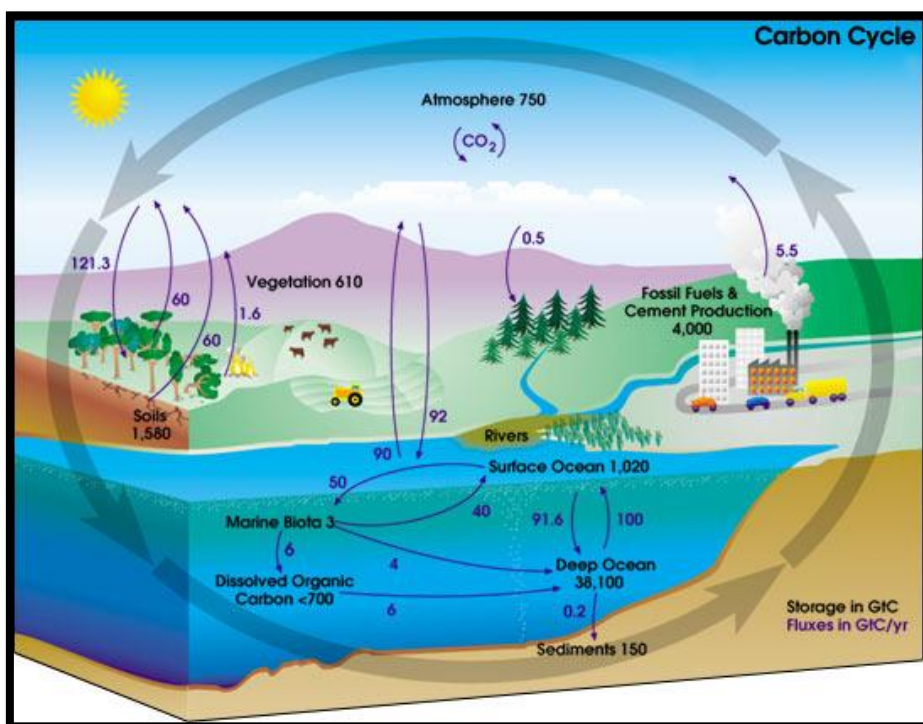
**Fig. 5.4 ciclo del fósforo**

### 5.1.5 CICLO DEL CARBONO

Este ciclo biogeoquímico es de suma importancia en el ámbito humano, ya que interviene directamente en procesos elementales para la supervivencia de los seres vivos, en especial para la vegetación que contiene clorofila. El contar con una azotea verde y ésta en su naturacion contenga plantas con contenido de clorofila, podrá absorber el dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera y lo transforma en oxígeno  $O_2$  que es indispensable en la respiración de los seres terrestres, y de esta manera a la azotea verde contribuye al flujo natural del ciclo de carbono.

El dióxido de carbono ( $CO_2$ ), se encuentra mayormente en la atmosfera, con una concentración del 0.03%, esto debido a las actividades de los seres vivos, tales como: el uso de combustibles, como el petróleo y sus derivados.

La extracción de  $CO_2$  de la atmósfera por medio de la vegetación se ve equilibrada con la producción de este mismo por los seres terrestres, así como por la descomposición de la materia orgánica. En la figura 5.5 se muestra el ciclo del carbono.



Fuente: ECOSISTEMAS

Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1994 Revista Trimestral

**Fig. 5.5 ciclo del carbono**

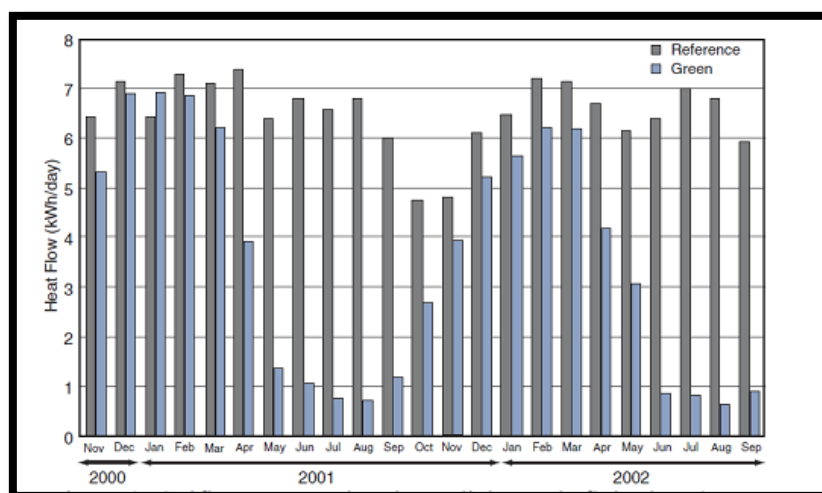
## 5. 2 ISLA DE CALOR

La isla de calor, se presenta en las zonas urbanas, esta es ocasionada por la falta de vegetación, al sustituir los bosques por asfalto y concreto. Dichos materiales absorben una cantidad mayor de calor que la vegetación, lo cual se ocasiona un ambiente caluroso. Este fenómeno aumenta con el uso de la electricidad.

Para ejemplificar lo anterior se puede decir que el calor específico del concreto es mayor que el de una planta, considerando que el calor específico significa, la cantidad de energía requerida para aumentar 1°C la temperatura de 1Kg de masa de cualquier material. Por lo tanto se necesita más energía para elevar la temperatura del concreto que la dela vegetación.

Estudios realizados por científicos del Centro de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM, demuestran que el Centro Histórico de la Ciudad de México, tiene una temperatura de 5°C más al resto de la zona metropolitana, la única manera de mitigar este efecto es contar con más áreas verdes.

La instalación de una azotea verde sobre cualquier inmueble conlleva la disminución de la temperatura interior, esto se debe a la evapotranspiración de la vegetación, así como a causa de la proyección de sombra sobre la parte superior del inmueble. Lo anterior es descrito con mayor detalle dentro del capítulo 8.- Beneficios. En la figura 5.6 se muestra una comparación de flujo de calor entre una azotea convencional y una naturada, dicha figura tomada de Tanner y Scholz-Barth (2004).

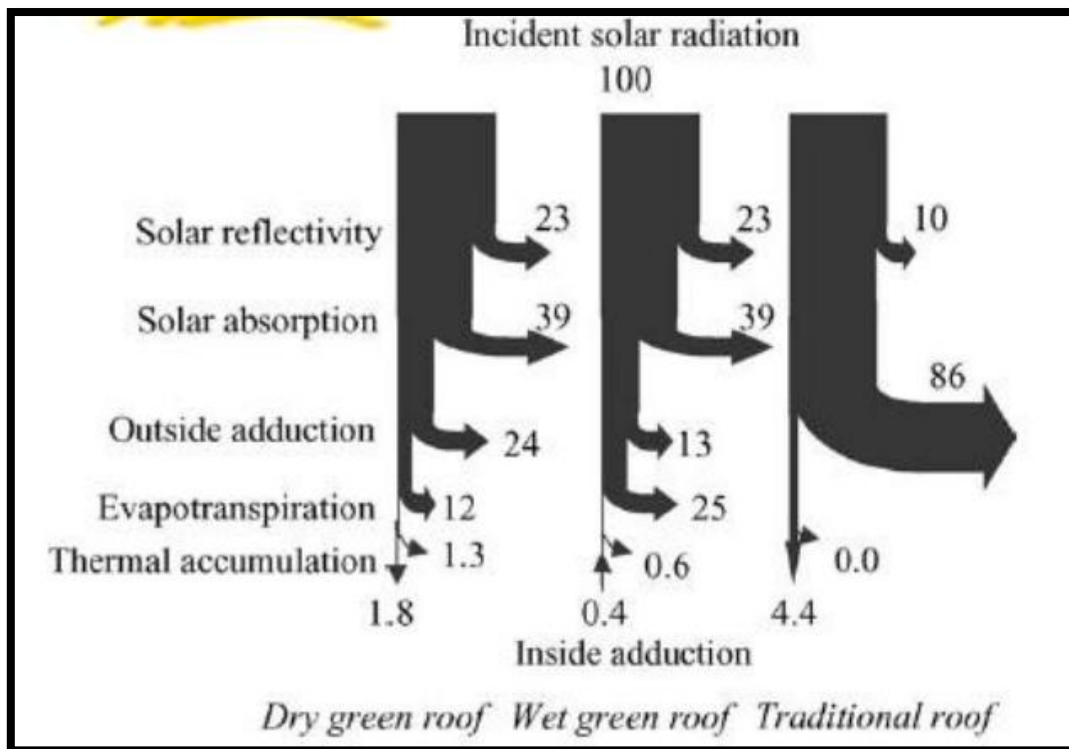


Fuente: Tanner y Scholz-Barth (2004).

**Fig. 5.6 Flujo de calor.**

En la figura 5.6 se muestra que es mucho mayor la energía requerida para elevar la temperatura de una azotea convencional a una azotea naturada.

El que un inmueble cuente con azotea verde produce la absorción de una menor cantidad de radiación solar, por lo tanto, del total de la radiación solar anual que es aproximadamente de 4.9 KW/m<sup>2</sup> para la Ciudad de México, las plantas absorben del 5 al 20% para la fotosíntesis, entre el 5 y 20% se refleja y, cerca de un 40% se disipa en la evapotranspiración. En la figura 5.7 se muestra una comparación de los intercambios energéticos de una azotea verde húmeda, seca y una azotea convencional, tomando como parámetro 100 unidades de radiación solar, figura tomada de Lazzarin, Castellotti y Busato (2005).



Fuente: Lazzarin, Castellotti y Busato (2005).

**Fig. 5.7 Isla de calor**

En la figura 5.7, se ve claramente que una azotea convencional absorbe mayor cantidad de energía calorífica que una azotea verde, y que la azotea naturada si cuenta con el proceso de evapotranspiración y una convencional no.

Como se menciona en este capítulo, el impacto que producen las edificaciones, en el siguiente capítulo realiza el diseño estructural de una losa, para poder soportar una azotea verde.

# VI. METODOLOGÍA DE REVISIÓN ESTRUCTURAL

---

---

## 6 METODOLOGÍA PARA LA REVISIÓN ESTRUCTURAL

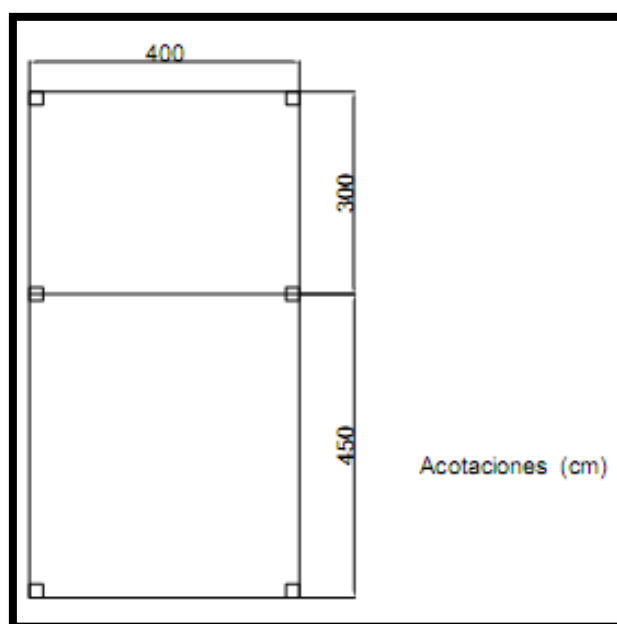
Las losas son parte fundamental de una edificación, por lo que es de suma importancia que ésta se diseñe correctamente.

Debido a que no todas las losas se comportan de la misma forma, existen 3 principales formas de diseñarlas las cuales son:

- Losas en una dirección
- Losas perimetrales
- Losas planas

Para ejemplificar la consideración de la carga que representa una azotea verde en el diseño de una losa, en los párrafos siguientes se presenta el diseño de una de tipo perimetral. El diseño está basado en el RCDF-04. Este tipo de losas cuenta con mayor rigidez ante la flexión.

En el diseño de una losa tienen que ser consideradas sus dimensiones, en este caso se realizará basándose en una casa de interés social. En la figura 6.1 se muestra una vista en planta de la losa en estudio, así como sus dimensiones. Cabe destacar que ésta se encuentra dividida en dos tableros.



**Fig. 6.1 Dimensionamiento de la losa**



## 6.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

La determinación de los materiales a utilizar es de suma importancia ya que de esto dependerá la resistencia de la losa, así como del criterio de diseño.

En la tabla 6.1 se dan los materiales a utilizar.

**TABLA 6.1**

MATERIALES			
Concreto		Acero	
$f'c=250$	kg/cm <sup>2</sup>	$f_y=4200$	kg/cm <sup>2</sup>
$f^*c=200$	kg/cm <sup>2</sup>	$F_s=2520$	kg/cm <sup>2</sup>
$f''c=170$	kg/cm <sup>2</sup>		
$W_c=2400$	kg/m <sup>3</sup>		

**Nota:** La calidad del concreto que se considera es de clase 1 y no colado monolíticamente con sus apoyos.

## 6.2 ANÁLISIS DE CARGAS

Para el diseño de una losa es necesario el análisis de cargas que serán soportadas por la losa en estudio.

Como se mencionó en el capítulo 3.- Criterios de diseño, es necesario contar con una pendiente mínima del 5% en la losa donde se va instalar la azotea verde. Por lo cual, para el diseño de la losa se tomarán en cuenta las cargas muertas, vivas y vivas máximas con una pendiente del 5%.

El diseño de la losa se realizará para una azotea verde extensiva y con un espesor propuesto de 14 cm. En la tabla 6.2 se muestra el análisis de cargas.

**TABLA 6.2**

ANÁLISIS DE CARGAS		
Espesor	0.14	m
Carga muerta (CM)		
Peso de la losa	336	kg/m <sup>2</sup>
Losa con 5% de pendiente	5	kg/m <sup>2</sup>
Naturación extensiva	140	kg/m <sup>2</sup>
Tinacos	80	kg/m <sup>2</sup>
Incrementos	40	kg/m <sup>2</sup>
CM	601	kg/m <sup>2</sup>
Carga viva (CV)		
Carga viva	40	kg/m <sup>2</sup>
W=CM+CV	641	kg/m <sup>2</sup>

La carga de 641 kg/m<sup>2</sup> será considerada para la revisión de peralte mínimo y la cual no contempla el factor de seguridad de 1.4.

### 6.3 PERALTE MÍNIMO

En el diseño de una losa, se considera el peralte en este caso ya se consideró para obtener la carga propia de la losa, pero el RCDF04 indica que 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.

Para la obtención del peralte mínimo se tomará el tablero más desfavorable de la losa. Utilizando la ecuación 6.1.

$$\text{peralte} = \frac{1.5 * (460 + 400) + (460 + 400)}{250} = 8.6 \text{ cm}$$

Ecuación 6.1

En caso de que la carga sea mayor a los 380 kg/m<sup>2</sup> se debe realizar un ajuste al perímetro, conforme a lo establecido en la ecuación 6.2.

$$F = 0.032 \sqrt[4]{F_s * W}$$

Ecuación 6.2

En este caso el resultado es 1.141 (unidimensional).

El resultado anterior es el factor de ajuste, el cual se utiliza para obtener el peralte mínimo, este factor debe ser multiplicado por el peralte obtenido anteriormente, realizando dicha operación se obtiene el resultado de 9.8 cm, que para efectos de redondeo se tomará como 10 cm (d=10cm). Además debe ser considerado el recubrimiento que en este caso se tomará de 4 cm, (H = 14 cm). En las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, se menciona que el recubrimiento mínimo debe ser de 1.5 cm sin que la losa esté expuesta a la intemperie, pero cuando lo está, el valor mínimo es de 2 cm si se colocó impermeabilizante durante el colado, y de 4 cm si se coloca después del colado. Por lo cual el espesor será de 14 cm. Para este caso el peralte de la losa se había tomado de 14 cm, y al hacer los cálculos resulto el mismo, en caso que el peralte propuesto sea diferente al calculado, se tendría que elegir el peralte calculado y modificar el análisis de cargas con el nuevo valor.

#### 6.4 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.

Siendo:

- Wu= Carga ultima
- a1= lado corto de la losa
- a2= lado largo de la losa
- Factor de cortante = 1.15

La determinación de la carga última se obtiene con la ecuación 6.3, y el cortante actuante con la ecuación 6.4, para el cortante actuante se necesitan los factores  $a_1$  y  $a_2$ , a continuación se dan los valores de dichos factores.

$$W_u = 1.4 * (CM + CV) = 887.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Ecuación 6.3

- $a_1 = 4 \text{ m}$
- $a_2 = 4.5 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Cortante actuante} = V_{cr} &= W_u * \text{factor de cortante} * \left(\frac{a_1}{2} - d\right) * \left(0.95 - 0.5 * \frac{a_1}{a_2}\right) \\ &= 991.303 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ecuación 6.4

Para la determinación del cortante resistente, es necesario el valor del ancho de la losa, en este caso se tomará un ancho unitario, por lo tanto  $B=100 \text{ cm}$ . Con ayuda de la ecuación 6.5 se obtiene el cortante resistente.

$$\text{cortante resistente} = V_u = 0.5 * Fr * B * d * \sqrt{(f * c)} = 5657 \text{ kg}$$

Ecuación 6.5

Para que una estructura no falle por efecto cortante, el cortante resistente debe ser mayor que el cortante actuante, en este caso si se cumple con esta condición por lo tanto se asegura que la losa no fallará por efecto de la fuerza cortante.

## 6.5 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, para tableros rectangulares.

Con la utilización de la tabla se obtienen los valores de  $m$ , que se obtienen de la siguiente forma  $m=a_1/a_2$ . En este ejemplo se utilizará el caso 2, ya que el concreto de la losa no fue colado monolíticamente con sus apoyos.

Primer tablero  $m_1= 4/4.5 = 0.889$

Segundo tablero  $m_2 = 3/4 = 0.75$

A continuación se presenta una parte de la tabla 6.1 de las NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, con la tabla 6.3 se obtienen los valores de  $K$ .

**TABLA 6.3**

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 <sup>2</sup>	II <sup>3</sup>	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
<b>Extremo</b> 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
	Neg. en bordes disc.	corto	651	0	370	0	340	0	310	0	280	0	250	0	220	0
		largo	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0	220	0
	Positivo	corto	751	912	730	800	670	760	610	710	550	650	490	600	430	540
largo		185	200	430	520	430	520	430	520	430	520	430	520	430	520	
<b>Extremo</b> Tres bordes discontinuos un lado corto continuo	Neg. en borde cont.	largo	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710	570	710
	Neg. en borde disc.	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
	Positivo	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	

Caso I. Losa colada monolíticamente con sus apoyos.

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  $kN/m^2$  (en  $kg/m^2$ ) y  $a_1$  en m, el momento da en  $kN-m/m$  (en  $kg-m/m$ )

Para el caso I,  $a_1$  y  $a_2$  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.

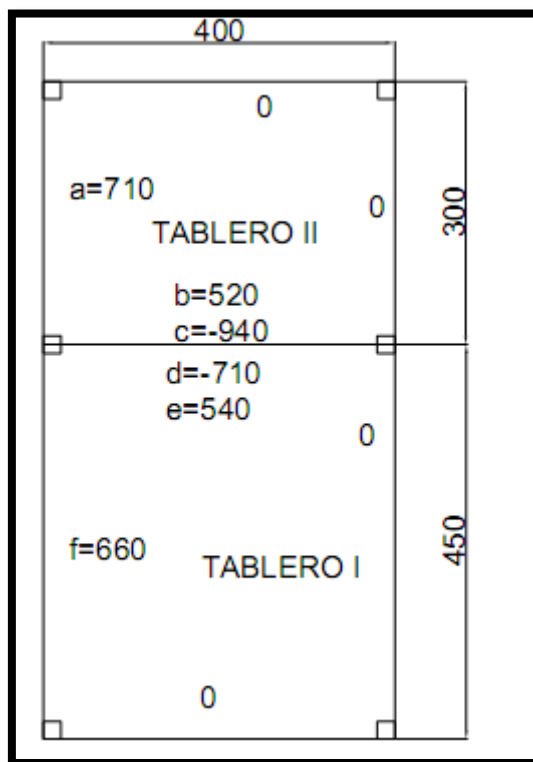
Fuente: NTC para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto

Los valores obtenidos se muestran en la tabla 6.4.

**TABLA 6.4**

POSITIVOS		NEGATIVOS	
a	710	c	940
b	520	d	710
e	540		
f	660		

En la figura 6.2 se muestra los tableros, así como la ubicación de los valores de k resultantes.



**Fig. 6.2 Valores de k**

Se obtienen los siguientes momentos de cada valor de k con ayuda de la ecuación 6.6.

$$M = k \times W_u \times a_1^2 \times 10^{-4}$$

Ecuación 6.6

En la tabla 6.5 se muestran los valores de los momentos

**TABLA 6.5**

MOMENTOS		
M1	0.573	T*m
M2	0.42	T*m
M3	0.759	T*m
M4	1.019	T*m
M5	0.775	T*m
M6	0.948	T*m

La diferencia entre momentos debe ser menor que la mitad del momento más pequeño

Diferencia =  $M4 - M3 = 0.26$  y  $M3/2 = 0.38$ , por lo que se acepta

La diferencia se multiplica por 0.5 y se adiciona al momento menor, posteriormente al valor total se resta al momento mayor para corregirlos.

$$\text{Corrección} = 0.5 * \text{la diferencia} = 0.13$$

Quedando los momentos ya corregidos expresados en la tabla 6.6.

**TABLA 6.6**

MOMENTOS		
M1	0.573	T*m
M2	0.42	T*m
M3	0.889	T*m
M4	0.889	T*m
M5	0.775	T*m
M6	0.948	T*m

Estos momentos serán tomados como momentos resistentes, por lo cual se utiliza la ecuación 6.7, de la cual se despejará la incógnita "q" que se refiere al área de acero.

$$FR=0.9$$

$$\frac{MR \times 10^5}{B \times d^2 \times f'c \times FR} - q + 0.5q^2 = 0$$

Ecuación 6.7

En la tabla 6.7 se muestran los momentos corregidos y el valor de "q" requerido para cada uno.

**TABLA 6.7**

MOMENTOS			"Q"	
M1	0.573	T*m	q1	0.0374
M2	0.42	T*m	q2	0.0274
M3	0.759	T*m	q3	0.0581
M4	1.019	T*m	q4	0.0581
M5	0.775	T*m	q5	0.0506
M6	0.948	T*m	q6	0.0619

Con base en el RCDF 04, se debe de cumplir con una cuantía mínima de acero, la cual se obtiene con las ecuaciones 6.8 y 6.9.

$$\rho_{\min} = \frac{(0.7 * \sqrt{f'c})}{f_y} = 2.635 * 10^{-3}$$

Ecuación 6.8

$$q_{\min} = \frac{(\rho_{\min} * f_y)}{f'c} = 0.065$$

Ecuación 6.9

Como el valor de q mínimo es mayor que el requerido se realiza el cálculo con el valor de q mínimo, es decir, acero mínimo, en base con ello se obtiene el área de acero, como se muestra en la ecuación 6.10.

$$A_s = \frac{(d * q_{\min} * F'c * B)}{f_y} = 2.6 \text{ cm}^2$$

Ecuación 6.10

Al obtener el acero de refuerzo de la losa, se continúa con la separación del acero, la cual se obtiene con la ecuación 6.11.

Utilizando varillas del numero 3

$$A_{s3} = 0.71 \text{ cm}^2$$

Separación:

$$S = \frac{(B * A_{s3})}{A_s} = 26.943 \text{ cm}$$

Ecuación 6.11

Así como se tiene que cumplir con un peralte mínimo y una cantidad de acero mínimo, también se debe de cumplir con una separación máxima la cual es:

- Separación máxima de 3.5 por el espesor de la losa
- Separación máxima de 2.5 por el peralte efectivo

$$S_1 = 3.5 * H = 49$$

$$S_2 = 2.5 * d = 25$$

Por lo tanto se colocarán varillas del número 3 a cada 25 cm

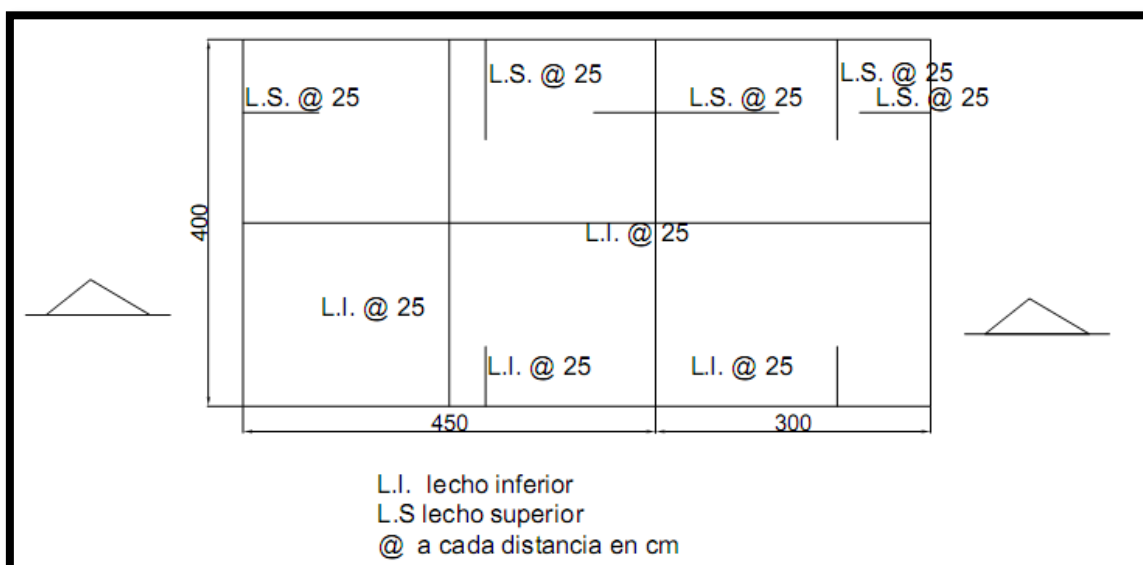


Este procedimiento es similar para los otros tipos de azotea verde. En la tabla 6.8 se muestra un resumen del diseño de cada tipo de naturación.

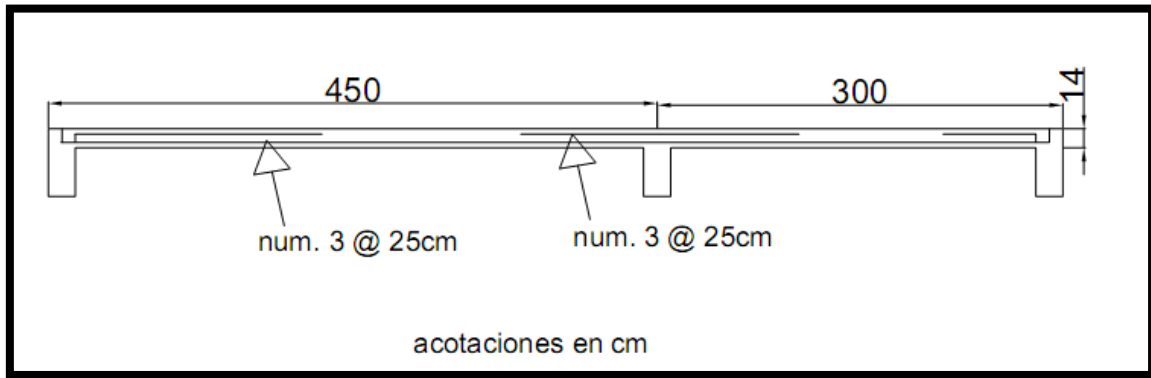
**TABLA 6.8**

Azotea	Peso de la naturación kg/m <sup>2</sup>	Espesor (cm)	núm. de varilla	separación (cm)
Sin naturación	0	14	3	25
Extensiva	140	14	3	25
Semi-intensiva	250	14	3	25
Intensiva	400	15	3	20

En las figuras 6.3 y 6.4 se muestra el armado de una losa susceptible de funcionar como base de una azotea verde de tipo extensiva, este armado será similar para cualquier tipo de naturación a instalar, modificando exclusivamente sus valores.



**Fig. 6.3 Armado de losa**



**Fig. 6.4 Detalle de armado de losa**

Hasta esta parte del documento se han tratado temas del inicio y evolución de las azoteas verdes, así como su legislación, además de los criterios, componentes e instalación de este tipo de losa, la afectación de las edificaciones al medio ambiente, en el siguiente capítulo se dan algunos beneficios que otorga las azoteas verdes.

# VII. BENEFICIOS

---

---

## 7 BENEFICIOS

---

---

El contar con una azotea verde es subestimado, debido a la falta de conocimiento de los beneficios que conlleva el contar con esta. Cabe destacar que ninguna otra estructura o parte de una edificación cuenta con la cantidad y variedad de beneficios como las que cuentan con áreas naturadas. Por lo que dichas estructuras cuentan con las condiciones necesarias para formar parte de los inmuebles de desarrollo sustentable, ya que concilian de manera adecuada la economía con la ecología.

### 7.1 BENEFICIOS FISCALES

---

Los beneficios fiscales son referenciados a las exenciones, bonificaciones y deducciones tributarias y, en general a todos los casos previstos por la normatividad fiscal.

En México este beneficio lo otorga el código Fiscal del Distrito Federal, publicado en la decima séptima sesión del 30 de diciembre de 2010 número 1001 Bis en el artículo 296; el cual se refiere 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 25% el pago de predial de cada año. Este beneficio considera como áreas verdes las plantaciones unidas a la tierra, por ningún motivo se aceptan macetas o recipientes similares.

Para optar por este beneficio el propietario tendrá que presentar una constancia por parte de la Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal, misma que acredite que existen las áreas verdes en el predio.

Por ejemplo si un inmueble mide 150 m<sup>2</sup>, tendría que contar mínimo con 45m<sup>2</sup> de azotea verde, para que el propietario pueda gozar de este beneficio. En el supuesto caso que se pagara \$ 4000 de predio anualmente, el propietario solo tendría que pagar \$3000 de predio anualmente.

## 7.2 BENEFICIOS AMBIENTALES

---

El contar con una azotea naturalada conlleva una serie de beneficios relacionados con el medio ambiente, estos beneficios son: la mejora de la calidad del aire, regulación de la humedad, generación de oxígeno y la regulación térmica del ambiente. Dichos beneficios se explican en los siguientes subcapítulos

### 7.2.1 MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE

---

El contar con una azotea verde ayuda a retener las partículas suspendidas en el aire, ya que la vegetación puede retener un 85% las mismas. Se ha comprobado que en un metro cuadrado de pasto se retiene anualmente aproximadamente 0.2kg de partículas suspendidas en el aire.

Otro beneficio que otorga una azotea verde en cuanto a optimizar la calidad del aire, es por medio de la fotosíntesis, ya que absorbe parte del CO<sub>2</sub> del aire y lo convierte en oxígeno, además de que algunas especies de plantas absorben partículas contenidas en gases de aerosoles que son nocivos.

### 7.2.2 REGULACIÓN DE LA HUMEDAD

---

Una de las funciones de la vegetación es aumentar o reducir la humedad del lugar donde se encuentra. Las azoteas que cuentan con naturación tienen la ventaja de la regulación de la humedad, es decir en época de sequia, cuando el aire es seco, la vegetación evapora agua que contenida en las raíces, de esta manera aumenta relativamente la humedad del aire. Caso contrario cuando el ambiente es húmedo se presenta el proceso de la formación de rocío, condensando la niebla para que de esta forma las gotas de agua se infiltren hacia la capa de sustrato.

En estudios realizados en Kassel, Alemania por Robinette en 1972 se observó que durante la época de sequia, la vegetación evapora aproximadamente 1, 500,000 litros

de agua por cada hectárea, y cuando existe demasiada humedad en el aire la vegetación de un metro cuadrado puede transformar hasta ½ litro de agua de rocío.

---

### 7.2.3. CREACIÓN DE HÁBITATS

---

Son muy pocas las áreas destinadas para la habitación de flora y fauna en las zonas urbanas, por ello la instalación de azoteas verdes en las ciudades es una nueva oportunidad para la creación de hábitats de la flora y fauna, recuperando así espacio verde que fue sustituido por edificaciones.

Para la creación de hábitats lo más conveniente es la instalación de una naturación extensiva, ya que requiere menos mantenimiento y será menos visitada, de esta manera podrán habitar una mayor cantidad de insectos.

---

### 7.2.4 REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA

---

Una de las funciones de la vegetación es la extracción del calor del ambiente debido a la evapotranspiración, la fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor dentro de sí. Lo anterior se observa de manera clara cuando existe demanda calorífica al ambiente, ya que por cada litro evaporado se consumen aproximadamente 530 kcal.

---

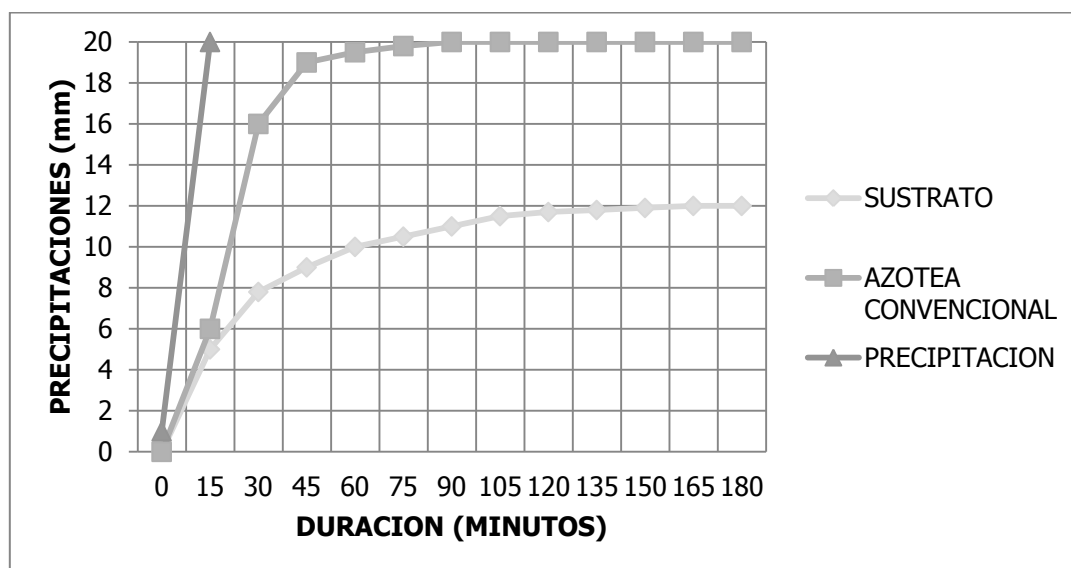
### 7.2.5 RETENCIÓN DE AGUA

---

La vegetación absorbe y almacena el agua pluvial, pasando después a la atmósfera mediante el proceso de evaporación y transpiración, esto ayuda al ciclo hidrológico.

La retención que tiene una azotea verde depende directamente del sistema de naturación, así como de su textura, espesor, porosidad. Como se muestra en la figura

7.1 en la cual se compara una azotea convencional contra una azotea verde con 10 cm de espesor de sustrato.



Fuente: Minke, Gernot (2004).

**Fig. 7.1 Comparación de retención de agua, entre una azotea convencional y una azotea verde.**

### 7.3 BENEFICIOS SOCIALES

Estos beneficios serán de los más visibles e importantes, ya que son los que ayudan a mejorar directamente a la sociedad en general, y de esta manera se puede dar a conocer la instalación de una azotea verde y de sus beneficios que puede aportar tales como: el aislamiento térmico y la retención de agua, siendo estos los mas importantes que se pueden presentar en el ámbito social.

#### 7.3.1 AISLAMIENTO ACÚSTICO

El contar con una azotea verde ofrece el beneficio de reducir las ondas sonoras que viajan del exterior al interior de la edificación, ya que una naturación extensiva

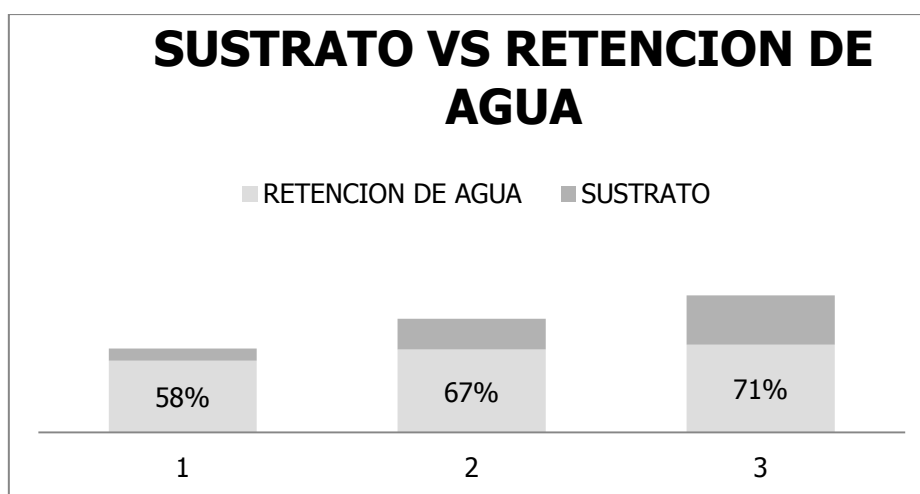
disminuye de 3 a 8 dB respecto al exterior, mientras que una naturación intensiva reduce más de 15 dB. Esto se debe a que la vegetación absorbe la energía sonora transformándola en energía calórica y en movimiento.

### 7.3.2 RETENCIÓN DE AGUA

La retención de agua por parte de una azotea verde ayuda a la disminución de anegación en las zonas donde se encuentra ubicada. Con base en estudios realizados en la Universidad de Kassel (Alemania), se ha comprobado que las azoteas verdes retienen cantidades considerables de agua, como se muestra en la tabla 7.1.

Espesor promedio (cm)	Retención aproximada de agua (%)
2.5	58
6	67
10	71

En la figura 7.2, se muestra la retención de agua que tiene cada tipo de naturación instalado en una azotea verde.



Fuente: Tanner y Scholz-Barth (2004).



**Fig. 7.2 Retención de agua, dependiendo el espesor del sustrato.**

## 7.4 BENEFICIOS ECONÓMICOS

---

Si bien la instalación de una azotea verde sobre cualquier tipo de edificio representa una gran inversión de recursos económicos, habrá que considerar los que se presentarán a corto y largo plazo después de la instalación. Esto es, que la inversión inicial será recuperada con la obtención de ciertos beneficios, que si bien estos no son económicos en su totalidad.

A continuación se describen algunos beneficios económicos tales como: aislamiento térmico, mejoramiento de la vida útil de la cubierta. Ya que estos ayudaran a disminuir los gastos de mantenimiento de la azotea, y en su caso del inmueble.

---

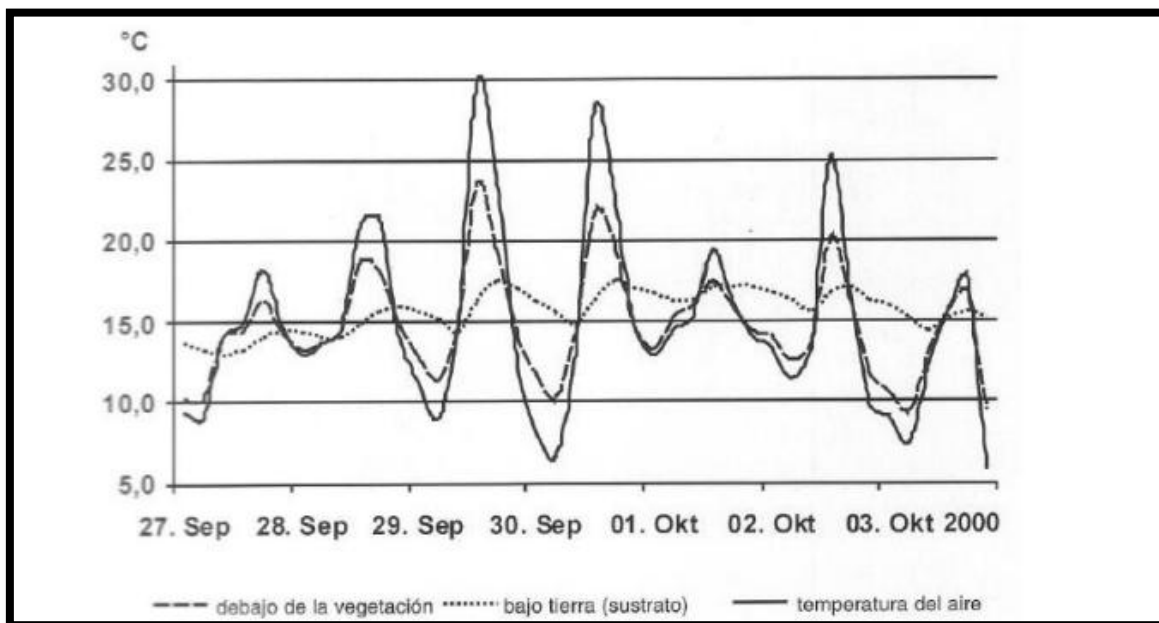
### 7.4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO

---

La vegetación impide el paso del viento al sustrato, esto se convierte en calefacción hacia la estructura, haciendo mayor la temperatura del interior de la edificación que en el exterior, por lo tanto se disminuirá o en su caso se evitara el uso de la calefacción.

En caso contrario, cuando la temperatura exterior es mayor que la interior, la vegetación ayuda a la formación de rocío ayudando a liberar aproximadamente 530 calorías por cada mililitro de agua, esto hace que se libere la energía calórica de la azotea, y reduce el uso del aire acondicionado.

En la figura 7.3 se muestra una comparativa entre la temperatura del aire circulante en la atmosfera, con la temperatura en la vegetación y la del interior del inmueble. La cubierta cuenta con un sustrato de 16 cm de espesor y las temperaturas corresponden a la época de verano.



Fuente: Minke Gernot (2004).

**Fig. 7.3 Comparación de la temperatura del aire en la atmosfera, en el sustrato y debajo de la vegetación.**

#### 7.4.2 MEJORAMIENTO DE LA VIDA ÚTIL DE LA CUBIERTA

Otro beneficio de gran importancia es el alargamiento de la vida útil del concreto de la losa, ya que las capas superiores brindan un recubrimiento y de esta manera evitan el daño por exposición a la intemperie, mismos que debido a los cambios bruscos de temperatura, alteran las características físicas y químicas del concreto, es decir, que un techo sin naturación tiene una duración de 15 a 25 años, mientras que las azoteas verdes tienen una duración del 100% más que una sin naturación.

## 7.5 BENEFICIOS DE SALUD

---

Más allá de cualquier beneficio, los referentes a la salud son fundamentales, ya que estos conllevan ahorros por la inherente disminución de enfermedades, además de traducirse en una calidad de vida superior.

A continuación se describen algunos de estos beneficios, ejemplos: aislante térmico, aislamiento acústico. Los cuales son fundamentales ya que harán una vida mas comfortable.

---

### 7.5.1 AISLAMIENTO TÉRMICO

---

Este beneficio es fundamental ya que las azoteas verdes tienen un excelente efecto de aislamiento térmico, esto se traduce que en época de primavera la temperatura en el exterior es alta, mientras que en el interior de la edificación es del alrededor del 20% menor que la exterior, esto evitará la deshidratación, insolación entre otras enfermedades.

En caso contrario, en época invernal, la temperatura exterior es bastante baja, mientras que en el interior de la edificación es casi del 20% mayor que la exterior. Con esto se pueden evitar enfermedades, tales como la gripe, resfriados, entre otros. Una enfermedad que se puede evitar es la intoxicación, esto a causa de prender anafres dentro de las habitaciones pero al ser mayor la temperatura en el exterior se disminuirá la necesidad de encender anafres.

---

### 7.5.2 AISLAMIENTO ACÚSTICO

---

Es demasiado el ruido que existe en las zonas urbanas, esto principalmente por el uso del transporte público, excavaciones, entre otras. Esto produce problemas auditivos en

los habitantes. El tener una azotea verde reduce el nivel de decibeles (dB) y esto conlleva a prolongar la salud auditiva.

## 7.6 BENEFICIOS ESTÉTICOS

---

Estos beneficios son los que se reflejan a simple vista, por lo que la instalación de una azotea verde en cualquier edificación modifica de forma considerable la percepción arquitectónica de dicha edificación. A continuación se describen algunos de estos beneficios, tales como: espacio útil, creación de hábitats. Y hacen que se muestre otra cara de las edificaciones.

---

### 7.6.1 ESPACIO ÚTIL

---

La creación de edificaciones ha hecho que se pierda una cantidad considerable de áreas verdes. Al instalar azoteas verdes en las edificaciones se recupera una parte de éstas, esto permitirá utilizar este espacio como jardín o zona de confort, esparcimiento y descanso.

---

### 7.6.2 CREACION DE HÁBITATS

---

Las azoteas verdes ofrecen una hermosa vista, así como una convivencia con la naturaleza y animales que habitan en ella. Tal como se muestra en la figura 7.4. foto tomada en las instalaciones de la azotea verde del INFONAVIT. Además de dar un hábitat a los insectos y bichos que viven y comen de las plantas, en este caso, contar con un estanque y darle hogar a especies marinas.



**Fig. 7.4 Creación de hábitat**

---

### 7.6.3 MEJORAMIENTO VISUAL

---

Este beneficio es el más perceptible. Al contar con un área natural en una estructura ésta ofrece armonía al paisaje y confort a la gente que habita en ella. La vegetación sobre una edificación ayuda al panorama al cambiarlo de un color opaco y sin vida a un color verde y con vida. Tal como se muestra en la figura 7.5.



**Fig. 7.5 mejora visual del la azotea**

# VIII. CONCLUSIONES

---

---

## 8 CONCLUSIONES

---

Las azoteas verdes constituyen una alternativa viable para la creación de ciudades sustentables, además la gente que habite el inmueble podrá contar con múltiples beneficios, además de retribuciones económicas.

El instalar una azotea verde permite al usuario, contar con un ambiente confortable y más saludable, además de adquirir una variedad de beneficios, estéticos y sociales.

El diseño adecuado de una azotea verde es primordial ya que de esta manera podrá funcionar correctamente y brindar todos los beneficios a los usuarios del inmueble. Si el diseño de la azotea verde no es adecuado, esta presentará problemas que pueden ser fatales, como la deformación de la losa y en el peor de los casos el vencimiento de esta.

Este trabajo contribuye de manera directa, en la difusión e implementación para el desarrollo de una ciudad sustentable, a corto plazo. Ha sido demasiado el daño que se le ha hecho a la naturaleza, por lo que es necesario regresarle algo de su ciclo natural de vida, por ejemplo a los ciclos biogeoquímicos los cuales son beneficiados por la vegetación instalada completando así su ciclo natural. Además de tratar de convertir una ciudad gris en una ciudad verde.

Para continuar con esta línea de investigación es necesario la difusión de este tema, ya que es muy poca la información que se tiene al respecto. Cabe destacar que algunos países de primer mundo han desarrollado planes a corto plazo para la implementación de ciudades sustentables, tal es el caso de Alemania, Suiza, Estados Unidos. Aún queda bastante por desarrollar dentro de nuestro país, (respecto de este tema), que sin lugar a dudas, será de vital importancia en un futuro que ya nos está alcanzando.

Este manual servirá como guía para que las personas con ciertos conocimientos en ingeniería, sean capaces de diseñar una azotea verde, según sea su preferencia, siguiendo todos los criterios señalados en este documento. Existen diversos tipos de azoteas verdes por lo tanto quedará a criterio del lector el tipo de naturaleza a instalar.

Con base en el diseño de la losa, la mayoría de las casas son capaces de soportar la instalación de una azotea verde extensiva, el instalar una semi-intensiva o una intensiva tendrán una diferente configuración de armado de losa.

La falta de normatividad referente a azoteas verdes es muy notoria, este tema es tomado de manera muy somera, tanto en el ámbito internacional como en el nacional, sin embargo existen organismos que están llevando a cabo programas para su difusión e implementación.

Se podría apreciar que la instalación de una azotea verde, no tiene nada que ver con la ingeniería civil, pero no es así, ya que esta instalación cuenta con todas las etapas de un proyecto ingenieril, además se tiene que realizar una revisión estructural del inmueble donde se va a instalar la azotea naturada, también cumple con la condición de darle una vida mejor a la población, además de conjugar el ámbito ambiental con el ingenieril.



# BIBLIOGRAFÍA

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

---

1. 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
2. Gaceta oficial del distrito federal, órgano del gobierno del distrito federal, décima séptima época 24 de diciembre de 2008 no. 491. Págs. 12-31
3. Código fiscal del distrito federal. Código publicado en la gaceta oficial del distrito federal, el martes 29 de diciembre de 2009. Págs. 199-200
4. Minke, Gernot (2004) "techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos." Editorial, fin de siglo. Cd. Montevideo, Uruguay.
5. Tanner y scholz-barth (2004) "green roofs". Editorial energy
6. Ley de Desarrollo Urbano del Distrito federal, Gaceta Oficial del Distrito Federal, 29 de enero de 1996, pág. 71
7. Secretaria del Medio Ambiente, Dirección General de Planeación y Coordinación de Políticas, Plan Verde de la Ciudad de México. Junio de 2011Pag. 2
8. VELAZQUEZ, LINDA, S. "Organic Green roof Architecture: Design Considerations and System Components, Wiley Periodicals, Inc. Environmental Quality Management." 2005.
9. Dr. Ernesto Jauregui. "Y la ciudad hirvió", Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM, 2005.
10. Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios Y Acciones Para El Diseño Estructural De Las Edificaciones, 2004
11. Normas Técnicas Complementarias Para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, 2004.
12. ECOSISTEMAS .- Madrid : Ediciones Mundi-Prensa, 1994 Revista Trimestral

### FUENTES ELECTRÓNICAS

1. Asociación internacional de techos verdes, <http://www.igra-world.com/> , (noviembre 2011).
2. Techos Verdes para Ciudades Saludables, <http://www.greenroofs.org/>, (diciembre 2011)
3. AMENA , <http://www.amenamex.org/webv2/> (diciembre 2011)

4. Portal del Instituto Nacional de Ecología (INE),  
<http://vivienda.ine.gob.mx/index.php/areas-verdes/azoteas-verdes/macetas-en-azoteas> (abril 2012)
5. Radiación solar, <http://www.ecotec2000.de/espanol/sun7.htm> (abril 2012)