

# Universidad Nacional Autónoma de México



## La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas

**Ilse García Villalobos**

Programa de Maestría y Doctorado  
en Arquitectura



México MMXI



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# **La vegetación como sistema térmico** en la naturación extensiva de cubiertas

Tesis que para obtener el grado de

**Maestra en Arquitectura**  
en el Campo de Tecnología presenta:

**Ilse García Villalobos**

**Programa de Maestría y Doctorado**  
**en Arquitectura**

México MMXI

**J u r a d o** ... ..

**Director de Tesis:**

- Dr. José Diego Morales Ramírez

**Sinodales:**

- Dr. Felipe Albino Gervacio
- Dr. Fidel Sánchez Bautista
- Mtro. Ernesto Ocampo Ruiz
- Mtra. Alma Rosa Ortega Mendoza

## A g r a d e c i m i e n t o s ... ..

Un enorme agradecimiento a todas las personas que estuvieron acompañándome durante esta etapa de mi vida, que ha forjado en mí una mejor persona.

Gracias al Dr. Diego Morales por dirigir esta investigación, por su disposición y apoyo en todo momento.

Agradezco a la Mtra. Alma Rosa Ortega, por sus consejos y apoyo total, pero sobre todo por su cariño y amistad.

Al Q. Miguel Canseco por el gran apoyo recibido durante las pruebas de laboratorio en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM), UNAM.

A todos mis maestros durante mi estancia en la maestría, en especial al Mtro. Ernesto Ocampo, por sus palabras de aliento al principio de este gran camino, y al Dr. Felipe Albino por enseñarme a mirar la arquitectura desde otra perspectiva.

Agradezco al equipo de trabajo del proyecto PAPIIT "Quinta Fachada: una propuesta estética y técnica", por brindarme la oportunidad de trabajar en él y poder desarrollar el análisis del modelo experimental, fundamental para la realización de la presente investigación.

A la UNAM por permitirme lograr un sueño más.

A mis padres Sarita y Régulo, les agradezco su amor, su protección, su trabajo y su apoyo incondicional en todo momento, son grandes y hermosas guías de vida. Los amo tanto.

A mis hermanos Erick y Javi por su alegría, sus sonrisas, sus palabras, sus enseñanzas, pero sobre todo por su gran amor.

A mi familia por dejar grandes aprendizajes en mi corazón. A mi niños Ale y Félix por su cariño, presencia y ayuda incondicional.

A mis amigos por estar siempre presentes.

A Jorge por ser esa parte de mí que vive en alguien más, eres el amor de mi vida.

A Dios por ser quien sujeta mi mano en cada paso que doy.

## D e d i c a t o r i a s ... ..

Dedicado a mi extraordinaria familia: Sarita, Régulo, Javi y Erik, por su enseñanza de vida y por darme a cada instante lo más valioso del mundo: el amor.

Y dedicado a ti, a quien le he entregado todo mi amor, a ti... la mitad de mi.  
Cada esfuerzo, cada sueño, cada anhelo es por ti y para ti. Te amo Jorge.

Índice .....	
Introducción.....	1
Objetivos .....	3
Hipótesis.....	3
Capítulo 1. NATURACIÓN.....	4
1.1 La naturación como envolvente.....	4
1.2 Antecedentes históricos de la naturación.....	7
1.3 Sistemas de naturación en cubiertas.....	9
1.4 Cubierta verde extensiva.....	11
1.4.1 Componentes de una cubierta verde extensiva. ....	11
Capítulo 2. LA VEGETACIÓN.....	15
2.1 Vegetación y el clima .....	15
2.1.1 Variación en la Incidencia de Radiación Solar. ....	16
2.1.2 Variación en la Velocidad y Dirección del Viento. ....	17
2.1.3 Variación en la Temperatura y Humedad del Aire. ....	18
2.2 La naturaleza urbana .....	19
2.3 Beneficios psicológicos de la naturaleza urbana.....	20
2.3.1 Relajación y reducción del estrés .....	21
2.3.2 Sensación de bienestar. ....	21
2.3.3 Experiencias de restauración. ....	22
2.4 Aspectos paisajísticos .....	22
2.4.1 Textura y densidad del follaje. ....	23
2.4.2 Permanencia del follaje.....	23
2.4.3 Estructura. ....	24
2.4.4 El color. ....	24
2.5 Propiedades ópticas de la vegetación .....	25
2.6 Función de la vegetación en la Naturación .....	25
2.7 La elección de especies vegetales .....	26
2.8 Medición de las características ópticas.....	27
2.9 Medición de la Conductividad Térmica .....	29
Capítulo 3. LA PERCEPCIÓN DE LA ECONOMÍA AMBIENTAL EN LA NATURACIÓN .....	31
3.1 Problemática ambiental.....	31
3.2 La percepción del paisaje urbano.....	32
3.2.1 La vegetación en el paisaje urbano.....	33
3.3 Beneficios del uso de naturación urbana.....	33
3.3.1 Mejoramiento de la calidad de aire. ....	34
3.3.2 Efecto de aislamiento térmico.....	35
3.3.3 Aislamiento acústico. ....	35
3.3.4 Prolongación de la vida útil de la cubierta. ....	35
3.3.5 Regulación de la humedad.....	36
3.3.6 Capacidad de retención de agua. ....	36
3.3.7 Reduce el efecto isla de calor. ....	37

3.3.8 Regulación de la temperatura .....	37
3.3.9 Protección contra incendio .....	38
3.3.10 Creación de hábitats .....	39
3.3.11 Efecto psicológico .....	39
Capítulo 4. CONFORT TÉRMICO .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.1 Parámetros físicos .....	42
4.1.1 Humedad .....	42
4.1.2 Velocidad del aire .....	43
4.1.3 Temperatura radiante .....	43
4.2 Parámetros circunstanciales .....	44
4.2.1 Calor metabólico .....	44
4.2.2 El tiempo de permanencia .....	44
4.2.3 La vestimenta .....	45
4.3 Parámetros fisiológicos y psicológicos .....	45
4.3.1 La edad .....	45
4.3.2 Sexo .....	45
4.3.3 Psicológicos .....	46
4.4 Índices de Confort Térmico .....	47
4.4.1 Modelos de adaptación .....	47
Capítulo 5. ESTUDIO DE CUBIERTAS NATURADAS .....	48
5.1 Guías, manuales y normas .....	48
5.2 Modelos de estudio de cubiertas naturadas .....	51
5.3 Características de la vegetación que mejoran el efecto térmico de la Naturación .....	55
5.4 Características físicas de la vegetación .....	56
5.5 Propiedades ópticas de la vegetación .....	57
5.6 Propiedades higrotérmicas de la vegetación .....	58
Capítulo 6. MODELO DE ESTUDIO .....	59
6.1 Área de estudio .....	59
6.2 Descripción del sitio de estudio .....	59
6.3 Zonas de confort térmico .....	60
6.4 Análisis climático .....	61
6.5 Análisis solar .....	64
6.6 Análisis de sombras .....	64
6.7 Análisis climático enero .....	67
6.8 Análisis climático junio .....	69
6.9 Modelo experimental .....	71
Capítulo 7. DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA CUBIERTA .....	85
7.1 Modelo matemático .....	85
7.1.1 Cálculo térmico enero .....	86
7.1.2 Cálculo térmico junio .....	87
7.2 Modelo experimental .....	89
7.2.1 Enero: desempeño térmico sobre el sustrato .....	90
7.2.3 Enero: desempeño térmico dentro del sustrato .....	91
7.2.4 Enero: desempeño térmico lecho alto de losa .....	92

7.2.5 Enero: desempeño térmico lecho bajo de losa .....	93
7.2.6 Enero: desempeño térmico interior.....	94
7.2.7 Junio: desempeño térmico sobre el sustrato.....	96
7.2.8 Junio: desempeño térmico dentro del sustrato.....	97
7.2.9 Junio: desempeño térmico lecho alto de losa.....	98
7.2.10 Junio: desempeño térmico lecho bajo de losa.....	99
7.2.11 Junio: desempeño térmico interior.....	100
CONCLUSIONES .....	104
Glosario .....	109
Anexo 1 .....	111
Gráficas del desempeño térmico en el mes de enero.....	111
Sistema de color rojo-enero .....	111
Sistema de color morado-enero.....	112
Sistema de color gris-enero .....	113
Anexo 2 .....	114
Gráficas del desempeño térmico en el mes de junio.....	114
Sistema de color rojo-junio .....	114
Sistema de color morado-junio.....	115
Sistema de color gris-junio .....	116
Bibliografía .....	117
Índice de fotografías .....	122
Índice de fichas.....	122
Índice de imágenes.....	121
Índice de tablas.....	122
Índice de gráficas .....	122
Índice de diagramas .....	123
Índice de planos.....	123

## Introducción.....

El crecimiento de las ciudades en los últimos años ha traído como consecuencia disminución y deterioro de las áreas verdes en el paisaje urbano; esto a su vez provoca condiciones ecológicas nocivas para el desarrollo del ser humano dentro de las grandes urbes. Uno de los problemas más preocupantes que ha producido esta situación en las áreas urbanas es el aumento de la temperatura promedio, debido al incremento del almacenamiento térmico en las ciudades con relación a las áreas adyacentes. La mayor parte de la energía térmica es retenida en las zonas urbanas, a este fenómeno se le conoce con el nombre de Isla de Calor Urbana, uno de los estudios más conocidos referido a los cambios de temperatura en la Ciudad de México han sido los realizados por Ernesto Jáuregui, en los cuales hace una comparativa térmica entre las zonas rurales y urbanas, los datos de estas investigaciones muestran que las áreas urbanas registraban para finales del siglo XIX un aumento en su intensidad de 1.2 °C en relación con las áreas rurales, y a alrededor de 9 °C a principios de los años ochentas del siglo pasado (JÁUREGUI, 2004), este gran cambio se debió en gran parte al crecimiento urbanístico que pasó de 27.14 km<sup>2</sup> a 1 150 km<sup>2</sup> en el mismo período (ver imagen 1, donde se muestra el crecimiento de la Ciudad de México a través de los años). La temperatura media anual en este periodo ha aumentado a un ritmo de 2 °C/100 años (JÁUREGUI, 1986).



**Imagen 1.** Grupo de imágenes del crecimiento de la Ciudad de México. Fuente: FILSINGER, Tomás, "Atlas y vistas de la Cuenca, Valle, Ciudad y Centro de México a través de los siglos XIV al XXI", CD ROM interactivo, México, Cooperativa Cruz Azul, 2005.

Es posible disminuir este efecto incrementando las áreas verdes en las ciudades, sin embargo actualmente es difícil disponer de áreas destinadas para tal función debido a la escasez de espacio provocado por la expansión y desarrollo desmesurado de las metrópolis. Por tal motivo se han buscado nuevas formas que permitan la incorporación de masa vegetal a la vida urbana en aquellos espacios que han sido poco valorados como lugares para el crecimiento de vegetación, entre estos espacios se encuentran las envolventes de las edificaciones.

Uno de los espacios que se puede utilizar en las envolventes de las edificaciones para la incorporación de vegetación es la cubierta, ya que en la mayoría de las construcciones se concibe como espacio total o parcialmente desocupado, lo cual permite que tenga un gran potencial para ser utilizado.

Dentro de los mayores beneficios que genera la incorporación de vegetación en las cubiertas se encuentra la regulación térmica al interior de las edificaciones. Existen otros grandes beneficios que produce la integración de masa vegetal en las zonas urbanas, éstos pueden clasificarse de acuerdo a su escala de acción: ya sean a nivel urbano o

arquitectónico, dependiendo a las personas a las que se dirigen: públicos o privados, o según el tema de acción: ambientales, económicos, sociales, estéticos, psicológicos, etc.

Existen muchas investigaciones referentes a cubiertas con vegetación en distintas partes del mundo, pero es importante destacar que debido a que el sistema cuenta con componentes vivos, las características y funcionamiento cambia de acuerdo a las condiciones ambientales de cada lugar, por ello es tan importante el análisis de la vegetación en cada región donde se desee aplicar este sistema, para poder determinar qué propiedades o características de la vegetación son las que mejoran el desempeño térmico de los sistemas de naturación. Adicionalmente los materiales abióticos disponibles en cada región para los sistemas de naturación no son los mismos, por lo cual los resultados se ven afectados de región a región.

Otro problema que existe actualmente involucra el cálculo del desempeño térmico de las cubiertas que incorporan sistemas de naturación, dado que no existen datos concretos sobre las propiedades y características de los materiales bióticos y algunos abióticos que se utiliza en los sistemas.

La presente investigación se basa en el efecto térmico que genera el uso de vegetación en la cubierta de las edificaciones al interior de los espacios habitables, se analiza si existen especies o características de la vegetación que mejoran el desempeño térmico en los sistemas de naturación. En caso de encontrar características definidas de las especies vegetales se podrá entonces hacer más eficientes térmicamente los sistemas de naturación, lo que brindará mayores condiciones de confort térmico al interior de las habitaciones; además que se podrá tener características paisajísticas predeterminadas para las cubiertas naturadas que generen mayor eficiencia térmica.

Este estudio se basa en distintas metodologías, entre ellas la investigación histórica y la descriptiva: donde se detallan los sistemas de naturación, sus componentes, sus principales beneficios, sus características, los estudios análogos sobre el tema, la descripción de las especies vegetales, descripción del lugar de estudio, etc., y una investigación experimental: donde se analizó el desempeño térmico de un modelo experimental, una cubierta naturada por medio del proyecto PAPIIT número IN404608 "Quinta fachada: una propuesta estética y técnica", ubicada en la zona sur de la Ciudad de México, que se expone a los estímulos reales y los comportamientos resultantes se comparan con los comportamientos de ese y un modelo matemático realizado para predecir el desempeño térmico de la misma cubierta.

El presente trabajo está compuesto por ocho capítulos, una sección de conclusiones, un glosario, dos anexos y una sección de los índices de fotografías, fichas, imágenes, tablas, gráficas, diagramas y planos presentes en el documento; a continuación se describe en forma muy general el capitulado del documento:

- Capítulo 1. Naturación. Comprende la definición, antecedentes y descripción de los sistemas de naturación.
- Capítulo 2. La vegetación. Trata sobre los efectos, beneficios, funciones y propiedades de los elementos vegetales.
- Capítulo 3. La percepción de la Economía Ambiental en la Naturación. Describe los beneficios del uso de los sistemas de naturación como un servicio ambiental.
- Capítulo 4. Confort térmico. Explica los parámetros a tomar en cuenta en el confort térmico de un espacio habitable y describe el modelo de adaptación de los índices de confort utilizado en esta investigación.

- Capítulo 5. Estudio de cubiertas naturadas. Menciona los documentos que rigen la instalación de los sistemas de naturación, así como también los modelos de estudios actuales referentes al tema y las principales características a tomar en cuenta de la vegetación para mejorar el desempeño térmico de las cubiertas.
- Capítulo 6. Modelo de estudio. Describe el área de estudio, el análisis climático del sitio y la selección de los dos meses de diseño.
- Capítulo 7. Desempeño térmico de la cubierta. Se muestra el estudio del desempeño térmico del sistema de naturación de la cubierta por medio de los resultados de dos modelos de estudio: uno matemático y otro experimental para los dos meses de diseño.
- Conclusiones. Se concluye la investigación por medio del uso de los resultados de todo el capitulo, se analiza y habla sobre el cumplimiento de la hipótesis y finalmente se muestran propuestas de líneas de investigación a seguir.

A continuación se muestran los objetivos e hipótesis principales que han dirigido desde su inicio la presente investigación:

## Objetivos

Objetivo General:

- Determinar las propiedades de la vegetación que mejoran el desempeño térmico en los sistemas de naturación extensiva en cubiertas en la zona sur de la Ciudad de México.

Objetivo Particular:

- Identificar el desempeño térmico de tres especies vegetales dentro de un sistema de naturación extensiva.

## Hipótesis

Hipótesis principal:

- Existen especies vegetales que mejoran el desempeño térmico en los sistemas de naturación en las cubiertas de las edificaciones, para generar mejores condiciones de confort térmico.

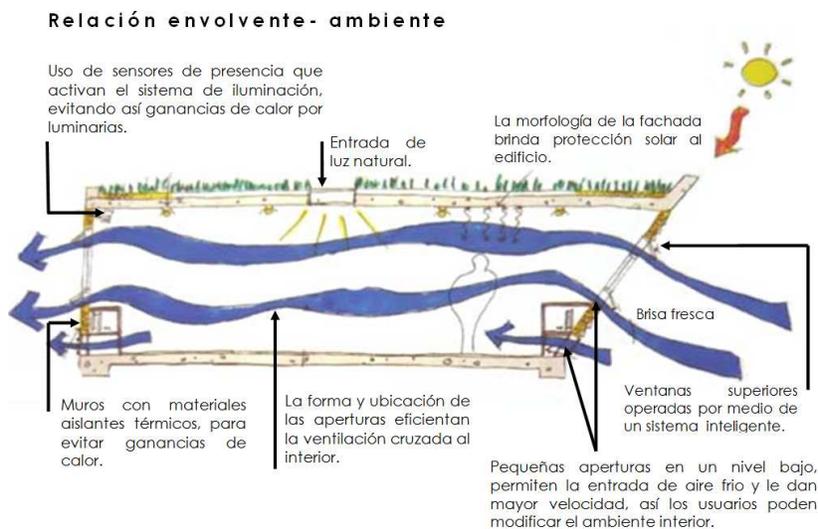
Hipótesis secundarias:

- La absorción de calor disminuye en las superficies a través de la reflectancia debido al uso de sistemas de naturación.
- Si el color de la vegetación influye en el desempeño térmico de los sistemas de naturación se podrá tener una imagen predeterminada de los sistemas de naturación con mayor eficiencia térmica.
- Si existen características físicas definidas de las especies vegetales que hagan más eficiente el desempeño térmico de las cubiertas, podrá crearse una selección de especies útiles para generar una paleta vegetal en los sistemas de naturación.

## Capítulo 1. NATURACIÓN.....

### 1.1 La naturación como envolvente.....

La envolvente de las edificaciones está formada por todos los elementos que separan los espacios del interior del ambiente exterior, por lo cual influye en el intercambio térmico entre ambos elementos. El ambiente interior en las edificaciones es el resultado de los flujos energéticos que se crean como consecuencia del clima y de las cargas internas del edificio, por ello el edificio está sujeto constantemente a pérdidas y ganancias térmicas a través de su envolvente. La envolvente es uno de los elementos responsables de mantener las condiciones de confort ambiental al interior de las edificaciones; este confort se obtiene logrando una estabilidad térmica, un ejemplo se muestra en la imagen 2, donde de forma conceptual se analiza la relación envolvente-ambiente de una habitación.



**Imagen 2.** Esquema de algunas relaciones objeto arquitectónico-ambiente en la época de verano de la envolvente del edificio del Instituto de Recursos Marinos y de Agua Dulce DPI, Australia.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México, 2011.

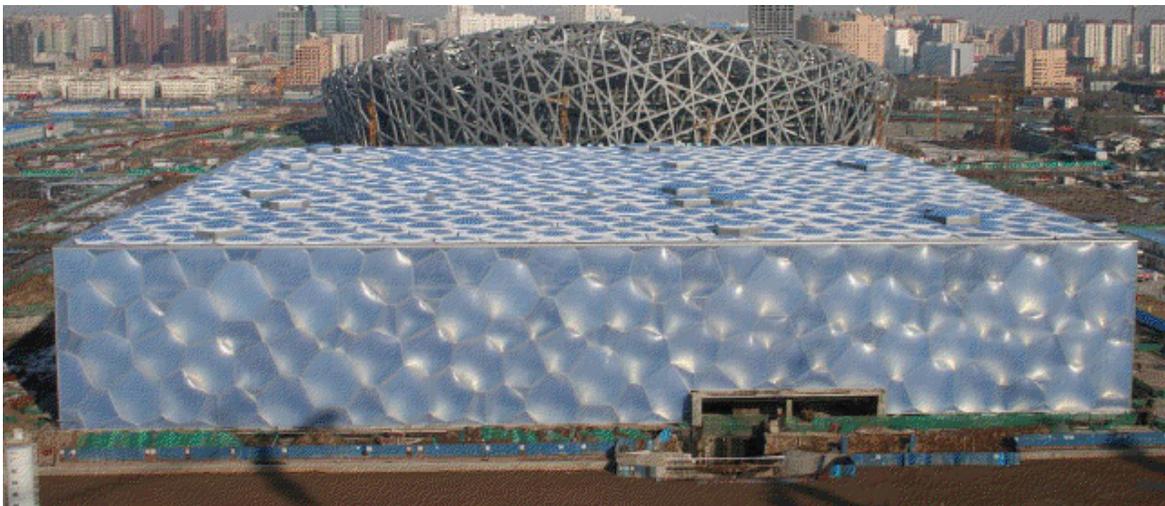
En la arquitectura generalmente se tiende a ver a la envolvente como un componente pasivo, estático, que en el mejor de los casos controla las condiciones ambientales en busca de los requerimientos del usuario en lo que se refiere a condiciones térmicas, acústicas, lumínicas, estéticas, etc., con la preocupación de no utilizar o minimizar elementos que requieran del uso y consumo de energía y recursos para crear los parámetros de confort adecuados el interior de los espacios.

Sin embargo, en los últimos años la envolvente ha dejado de ser un simple medio de transición o contenedor espacial, para convertirse en un nuevo elemento, en un organismo vivo que responde pasiva y activamente al entorno con el cual se relaciona, para ser un sistema cuyo objetivo principal sea el de contar con un equilibrio que se

presente por medio del confort de los usuarios, el impacto ambiental que genere y el manejo e inversión de recursos que requiera.

La arquitectura contemporánea evoluciona el concepto de envolvente por el de piel: una membrana que cubre y protege al espacio contenido y que actúa como receptor natural del edificio, ya no como un simple recubrimiento, sino como un elemento dinámico que transmite información al espacio interior.

Las tendencias arquitectónicas modernas conciben a la envolvente como aquel componente del objeto arquitectónico que cumple las funciones de contener, controlar y modificar térmicamente el interior de las habitaciones y sus consumos energéticos, producir energía y generar condiciones de confort, reaccionar y responder a cada uno de todos los cambios existentes, dado que actúa como interfaz entre el interior y el exterior del espacio. Para que realice tales funciones es necesario considerar el diseño de la envolvente como un elemento vivo, incluir desde la concepción del proyecto elementos tecnológicos en la envolvente que dialoguen de la mejor forma con el ambiente, por ejemplo la envolvente del Centro Nacional de Natación Watercube, en China (Ver imagen 3), la cual permite la entrada de luz natural y capta la radiación solar para lograr confort térmico interior y calentar el agua de las piscinas.



**Imagen 3.** Vista de la envolvente plástica del edificio Watercube.  
Fuente: BARAONA, Ether, "Piel. Skin", libro on-line <http://skinarchitecture.com/>, Barcelona 2007.

Dentro del proceso de creación de la envolvente, es necesario tomar decisiones sobre los elementos que la determinarán y qué técnicas o tecnologías serán las más apropiadas a implementar, para que la propia envolvente tenga una visión y tendencia en relación a la obra arquitectónica.

Es necesario crear a las envolventes de las edificaciones no como elementos inertes, indiferentes o aislados a la actividad que muestra no solamente el usuario, sino también el ambiente; por ello es necesario que la envolvente dialogue con cada uno de los componentes que integran los espacios arquitectónicos.

La cubierta como componente de la envolvente, es el elemento de las edificaciones que está sujeta a mayores fluctuaciones térmicas, ya que durante el día alcanza elevadas

temperaturas por su exposición directa a la radiación solar y, durante la noche, es la parte de la construcción que más calor pierde, por radiación hacia la bóveda celeste.

Muchos sistemas de cubierta fueron desarrollados con base en esta preocupación, intentando minimizar los flujos energéticos entre el ambiente interior y exterior a través de la cubierta y, por supuesto, cumpliendo con los requisitos esenciales a los que debe responder una cubierta: la estabilidad y resistencia mecánica, la seguridad en caso de incendio, la salubridad, la seguridad de uso, la protección contra el ruido, el ahorro de energía y la protección térmica (MANCHADO, BRITO y NEILA 2000).

La naturación en una herramienta que puede ser utilizada en las envolventes y transformarlas, brindando el mejor recurso: dándole vida. Surge como una nueva piel arquitectónica, como una proyección de la piel humana, que siente y comunica, que reacciona a cualquier estímulo, que protege y embellece, y hasta que puede morir. Al existir esta semejanza entre el hombre y la envolvente habrá una mayor apreciación del sistema, lo que se reflejará en aspectos positivos, tanto técnicos y arquitectónicos, como sociales en la propia cultura del hombre y su percepción de una nueva arquitectura. Es así que la cubierta con vegetación retoma de nuevo su uso dentro de las edificaciones como un elemento viviente, que es térmicamente eficiente, además de muchas otras ventajas frente a los sistemas de cubiertas convencionales (Ver Imagen 4). Por ello es importante determinar y comparar el comportamiento de las cubiertas con y sin vegetación.



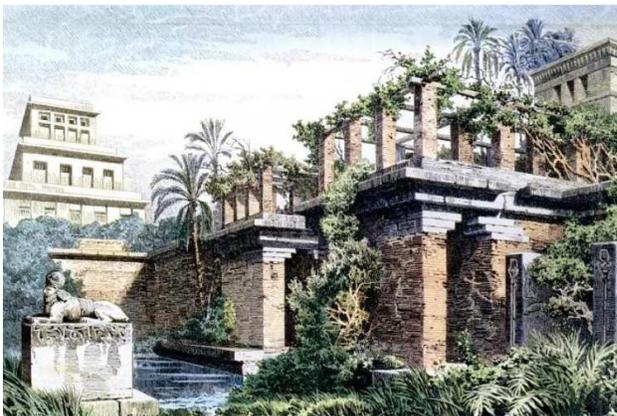
**Imagen 4.** Vista de la cubierta del Instituto de Recursos Marinos y de Agua Dulce DPI, en Australia. Fuente: DUNNETT, KINGSBURY, "Planting green roofs and living walls", Timber Press, Londres 2008, pág. 31.

Para poder manejar a la naturación como una verdadera herramienta que confiera los mejores beneficios a las edificaciones es necesario conocer el desempeño del sistema en su totalidad y también de cada elemento que lo conforma. Analizar y comprender su comportamiento será indispensable para obtener mejores y mayores resultados como envolvente viviente.

## 1.2 Antecedentes históricos de la naturación\_\_\_\_\_

La naturación es una técnica constructiva que permite incorporar vegetación sobre cualquier tipo de superficie de las edificaciones, ya sea horizontal, vertical o inclinada. El procedimiento de la técnica de naturación ha sido diferente en cada región del mundo y en cada época, estas diferencias en los métodos constructivos responden a características específicas que debe cumplir cada sistema de naturación, desde la selección de materiales inertes y vegetación hasta el método de mantenimiento que cada uno requiera, según las demandas del sitio y de los usuarios<sup>1</sup>.

Esta técnica ha evolucionado hasta convertirse en los últimos años en una tecnología, debido a los estudios del comportamiento de los sistemas de naturación, por medio de su conocimiento operativo, se ha logrado hacerlos más eficientes, optimizar su funcionamiento y maximizar sus beneficios.



**Imagen 5.** Representación de los Jardines colgantes de Babilonia.  
Fuente: LLOYD, "Todo sobre nuestro mundo", Editorial Ariel, 2008, pág.

Una de las construcciones más prístinas en implementar vegetación en cubiertas son los Jardines Colgantes de Babilonia (Ver imagen 5) que se construyeron entre los años 605 y 562 a.C. con una superficie aproximada de 1600 m<sup>2</sup> (NEILA 2004), donde abundaba todo tipo de vegetación, incluso árboles de gran tamaño.

La naturación ha sido utilizada tanto en climas fríos como Islandia, Escandinavia, Estados Unidos y Canadá, así como también en climas cálidos como el de Tanzania (MINKE 2004), ejemplo de todos estos países son las casas

tradicionales en las cuales se integra el elemento de cubierta naturada como herramienta clave para brindar mayor confort térmico al interior. Los romanos incluyeron también en sus Palacios y Mausoleos la naturación de cubiertas para adorno o esparcimiento, sin embargo, en la mayoría de los casos, estas ostentaciones estaban limitadas a construcciones sólidas, capaces de soportar la sobrecarga de estos jardines intensivos en plantas y con una gran capa de sustratos (DE FELIPE 2004).

En el siglo XIX, los movimientos socialistas liberados por Charles Fourier y Robert Owen mostraron su preocupación por el impacto perjudicial de la revolución industrial y el capitalismo, en el tejido social y sobre el medio ambiente. Su idea de tener comunidades que protejan el medio ambiente, y donde sus habitantes vivan en paz y armonía, les lleva a crear núcleos como New Harmony en Estados Unidos. De una manera más popular se inicia en el siglo XIX una línea urbanística europea que incorpora la cubierta dentro de los proyectos como un nuevo espacio vital multiuso, en esta época la cubierta se empleó como espacio de reunión, aunque posteriormente esta visión se fue deformando hasta

---

<sup>1</sup> Debido a las características y requerimientos que deben cumplir los sistemas de naturación se conciben como elementos arquitectónicos únicos, que debe ser diseñados para satisfacer las necesidades del sitio, por lo tanto no es un elemento globalizado.

que fue convertida en un espacio donde su uso principal es de servicio, generalmente áreas de tendido y lugar propicio para colocar las antenas de televisión y elementos de almacenamiento de agua.

Otros ejemplos de sistemas de naturación son los instalados por Ralph Hancock sobre el Rockefeller Center de Nueva York en la tercera década del siglo XIX, la naturación de cubiertas en los teatros de la Broadway de Johnson a finales del siglo XIX, el sistema de naturación de la Casa "Hundertwasser" en Viena (ver imagen 6) y las del ICC en Berlín (NEILA 2004).



**Imagen 7.** Vista de la Casa Hundertwasser.  
Fuente: DUNNETT, KINGSBURY, "Planting green roofs and living walls", Timber Press, Londres 2008, pág. 18.

En el siglo XX se habla de las ciudades-jardín y planificación bio-regional, la tendencia a la implantación de naturación es generalizada en este periodo, siendo Le Corbusier uno de los más fervientes defensores (DE FELIPE 2004).

Hoy en día la naturación en las construcciones es una posibilidad que significa diferentes beneficios para la ciudad y para las propias edificaciones. En países como Alemania, este concepto de naturación contemporánea existe desde 1971 (GOLLWITZER y WIRSING 1971) y es ampliamente utilizado, dado que anualmente se naturan aproximadamente 4 millones de metros cuadrados de edificios dentro y fuera de las ciudades. Esta tendencia también ocurre en Islandia, Escandinavia y Estados Unidos donde esta técnica cada día es más frecuente.

Actualmente en México, se han creado asociaciones para la naturación de azoteas. Tal es el caso de la Asociación Mexicana para la

Naturación de Azoteas AMENA, fundada en 2005, y certificada por la IASP de la Universidad Humboldt de Berlín, Alemania. Algunas otras instituciones son; la Fundación Hombre Naturaleza, el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norteamérica CICEANA, que junto con algunos gobiernos estatales y el Gobierno del Distrito Federal, se han preocupado por los problemas de contaminación del aire y del sobrecalentamiento en las zonas urbanas, encontrando una respuesta en la naturación

de los edificios. La Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal SMA y el Banco Interamericano de Desarrollo BID realizan una prueba piloto en la que establecen la naturación de cubiertas en escuelas públicas en diversas delegaciones públicas del Distrito Federal<sup>2</sup>.



**Imagen 6.** Vista de la cubierta naturada de la Glorieta de Insurgentes.  
Fuente: SOSA, Iván, "Revisiten concreto de verde", Periódico Reforma, México, 6 de octubre 2010.

<sup>2</sup>La Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del DF, tiene considerados descuentos de hasta 25 por ciento en el pago del predial a inmuebles que tengan 33 por ciento de su espacio destinado a áreas verdes, incluidos los sistemas de naturación en cubiertas (Milenio.com 2011).

### 1.3 Sistemas de naturación en cubiertas\_\_\_\_\_

Actualmente existen clasificaciones para los tipos de naturación de acuerdo al espesor del sustrato, a las especies vegetales que la componen y al mantenimiento que requieren. Sin embargo, de forma general se dividen en tres sistemas de naturación:



**Imagen 8.** Vista de la cubierta con un sistema de naturación intensivo en la cubierta del Glen Patterson's Garden on the Escala, en Vancouver, Canadá. Fuente: Earth Pledge, "Green Roofs. Ecological design and construction", Schiffer, 2005, pág. 24.

Intensivos: Se consideran como jardines convencionales, solamente en la cubierta, dado que permiten el uso de cualquier tipo de vegetación, incluso árboles, por la cual el espesor del sustrato es mayor de 30 cm, el costo y mantenimiento son elevados ya que requiere de riego, fertilización y poda constante. Se procura que este tipo de sistemas se realice en construcciones nuevas, ya que es necesario un cálculo estructural detallado debido a que el peso del sistema es elevado, superando incluso los 250 kg/m<sup>2</sup> (Ver imagen 8).



**Imagen 9.** Vista de la envolvente con un sistema de naturación semi-intensivo del edificio ACROS Fukuoka, en Fuluoka, Japón. Fuente: Earth Pledge, "Green Roofs. Ecological design and construction", Schiffer, 2005, pág. 61.

Semi-intensivos: Este sistema se considera como intermedio entre los otros dos sistemas, el espesor del sustrato oscila entre los 12 y 30 cm, por lo cual disminuye la selección de especies vegetales en comparación con el sistema intensivo, aunque da más posibilidades que el sistema extensivo. Requiere de un mantenimiento regular, y su peso aproximado se encuentra entre los 120 y 250 kg/m<sup>2</sup> (Ver imagen 9).



**Imagen 10.** Vista de la cubierta con un sistema de naturación extensivo del edificio del Centro de servicios de Justicia Sechelt, en Sechelt, Canadá. Fuente: Earth Pledge, "Green Roofs. Ecological design and construction", Schiffer, 2005, pág. 36.

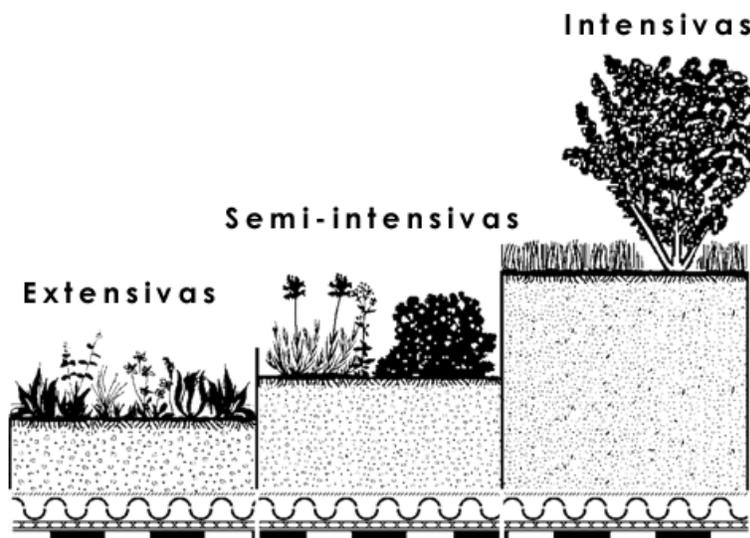
Extensivos: En este sistema el espesor del sustrato no debe ser superior a 12 cm. La vegetación es de bajo porte usando generalmente especies endémicas y/o adaptadas a las condiciones ambientales, por ello su mantenimiento se considera muy bajo o casi nulo. El peso aproximado del sistema oscila entre los 60 y 140 kg/m<sup>2</sup>. Debido a sus características es el más apto para ser utilizado en las cubiertas de las construcciones existentes (Ver imagen 10).

La Tabla 1 muestra de forma comparativa las características generales de los tres tipos de sistemas de naturación:

Tipo de Naturación	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Espesor del sustrato	6-12 cm	12-30 cm	+ 30 cm
Peso m <sup>2</sup>	60-150 Kg/m <sup>2</sup>	120-250 Kg/m <sup>2</sup>	+ 250 Kg/m <sup>2</sup>
Riego	No	Periódicamente	Regularmente
Mantenimiento	Bajo	Periódicamente	Alto
Altura de crecimiento de plantas aprox.	5-50 cm	5-100 cm	5-400 cm
Costo*	Bajo	Medio	Alto

**Tabla 1.** Tabla comparativa de los sistemas de naturación.  
Fuente: GARCÍA, Ilse. Cubiertas Verdes. Tesis de Licenciatura, México: UNAM, 2009.

A continuación, la imagen en corte, muestra un esquema comparativo de los tipos de naturación en cubiertas, representando gráficamente las diferencias más significativas.



**Imagen 11.** Esquema comparativo de los tipos de sistemas de naturación en cubiertas.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México, 2011.

\* Existen distintos análisis del costo de una cubierta verde, por ejemplo según datos de Jerónimo Reyes Santiago, biólogo-taxónomo del Jardín Botánico de la UNAM, el precio más bajo oscila entre los \$1,000 y los \$1,300 pesos mexicanos por metro cuadrado para una superficie aproximada de 100 m<sup>2</sup>, aunque varía dependiendo los materiales, el tipo de inmueble, la ubicación del mismo y si éste incluye o no el sistema de riego, (VALDÉZ 2008); mientras que Green Roof Systems de México, empresa dedicada a la instalación de sistemas de naturación en nuestro país, afirma que es de \$2,000 MN (Milenio.com 2011).

## 1.4 Cubierta verde extensiva

La actual problemática ambiental ha fomentado la creación e investigación de tecnologías sustentables que contribuyan a su mejoramiento, visión que reafirma el sistema extensivo, ya que genera beneficios a un costo bajo en comparación de los otros sistemas de naturación y con mínimos o nulos cuidados, por lo cual se comporta como una herramienta ecológica, que brinda mejoras reales al ambiente sin exigir ni malgastar recursos.

### 1.4.1 Componentes de una cubierta verde extensiva.

Una cubierta verde se compone de varias capas que cumplen funciones esenciales dentro de los sistemas de naturación, en la imagen 12 se muestra el esquema de los elementos principales debe incluir un sistema multicapa de naturación:



**Imagen 12.** Esquema de los componentes de un sistema de naturación en cubiertas.  
Fuente: GARCÍA, Ilse. Cubiertas Verdes. Tesis de Licenciatura, México: UNAM, 2009.

- Soporte base: Es aquel que sirve para el apoyo de los componentes del sistema, generalmente forma parte de la estructura de la edificación y por lo tanto debe de soportar las cargas actuantes del sistema. En ocasiones también sirve como elemento que forma la pendiente necesaria para el desalojo de agua excedente del sistema. En la mayoría de las construcciones este elemento es a base de una losa de concreto armado de al menos 10 cm de espesor.
- Membrana impermeabilizante: Es aquella que impide el paso de humedad al elemento de soporte base y al interior de la edificación. Las membranas impermeabilizantes deben cumplir con las siguientes condiciones particulares:
  - Estabilidad dimensional.
  - Resistencia a la perforación por raíces.
  - Resistencia a la tensión y tracción de los movimientos estructurales.
  - Resistencia a microorganismos.
  - Resistencia al choque térmico y variaciones de temperatura ambiental.
  - Resistencia al punzonamiento.



**Fotografía 1.** Colocación de la membrana impermeabilizante a base de una película asfáltica, colocada por termofusión. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México, 2010.

La impermeabilización de la cubierta es uno de los procesos constructivos en los que se debe tener mucho cuidado, debido a que una mala elección del tipo de membrana o una mala colocación, hará que el sistema no trabaje de manera eficiente y se presenten problemas a corto plazo en la edificación. Los principales problemas que se encuentran relacionados con la impermeabilización, son la infiltración de humedad y el paso de raíces a la cubierta e incluso al interior de las habitaciones, por ello debe de realizarse la instalación de este componente de una manera cuidadosa (Ver fotografía 1), tomando en cuenta todos los detalles que sean necesarios, sellando cada unión, esquina o traslape de elementos de la cubierta (Ver fotografía 2).



**Fotografía 2.** Detalles de las uniones de la membrana impermeabilizante, y sellado en bajas pluviales y en elementos existentes en la cubierta para evitar el paso de humedad a la cubierta. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México, 2010.

- **Capa drenante:** Su función es recibir las precipitaciones excedentes en toda la superficie y conducir las hacia los desagües de la cubierta, además de funcionar como protección mecánica de la cubierta. Se coloca entre la membrana impermeabilizante y la capa filtrante. Esta capa sirve en ocasiones de acuerdo al material utilizado, como espacio útil para la estadía de raíces y además también puede servir para el almacenamiento de agua. En los sistemas de naturación desprovistos de capa drenante, la capa de sustrato deberá ser lo suficientemente permeable al agua y la cubierta deberá tener la inclinación adecuada para permitir un adecuado drenado del agua excedente. Actualmente se usan materiales geosintéticos en la versión de geocompuestos que incluyen tanto el geodren que da la función drenante en el sistema y un geotextil que sirve como elemento filtrante, por lo tanto este material cumple las dos funciones (Ver fotografía 3) .

- Capa filtrante: En los sistemas de naturación para cubiertas que cuenten con capa drenante sin elemento textil, se deberá colocar una capa filtrante entre el dren y el sustrato para evitar el paso de las partículas finas de este; las cuales podrían tapar la capa drenante (Ver Fotografía 3). La capa filtrante deberá ser siempre permeable en ambos sentidos, permitiendo el paso de agua.



**Fotografía 3.** Colocación del geocompuesto, que cumple la función drenante y filtrante a la vez.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse. México, 2010.

- Capa de Sustrato: La capa de sustrato tiene como función servir de soporte físico a la capa de vegetación, suministrándole los nutrientes, el agua y el oxígeno necesarios para su pleno desarrollo. Es este el lugar donde crecen y se desarrollan las raíces de las plantas. El espesor de ésta capa está directamente relacionado con las necesidades del volumen radicular de las especies seleccionadas y con las condiciones microclimáticas de la zona, particularmente con la demanda de evapotranspiración.



**Fotografía 4.** Colocación del geocompuesto, que cumple la función drenante y filtrante a la vez.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse. México, 2010.

- Capa de Vegetación: En los sistemas de naturación extensiva, es necesario elegir una variedad de especies vegetales que requieran poco mantenimiento, que puedan adaptarse a las condiciones extremas del lugar de plantación y que permitan obtener una cobertura de vegetación rápida y duradera. Las condiciones generales que deberá soportar la vegetación en este sistema son:
  - Alta radiación solar.
  - Escaso volumen de suelo.
  - Largos periodos de sequía.
  - Temperaturas extremas.
  - Condiciones de nulo mantenimiento.

Es necesario realizar un plano de plantación que indique la cantidad, distribución y posición de cada especie vegetal en la cubierta, el cual sirve también para realizar el trazo sobre el terreno de las guías o maestras para la ubicación las plantas y su correcta distribución (Ver fotografía 5), en los planos también se muestran las especificaciones de cada especie vegetal y detalles para su plantación.



Fotografía 5. Muestra de la plantación de la especie *Sedum rubrotinctum* en una cubierta naturada.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse. México, 2010.

En el diagrama 1 se muestran los componentes básicos de una cubierta verde y la función principal que desempeñan en el sistema de naturación.



Diagrama 1. Componentes básicos de una cubierta verde.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse. México, 2010.

## Capítulo 2. LA VEGETACIÓN.....

El hombre ha establecido diferentes clases de relaciones con el medio ambiente que han ido evolucionando a lo largo del tiempo, ejemplo de ello es la relación que mantiene con la vegetación, a partir de la cual él ha podido satisfacer varias de sus necesidades: alimentarse, protegerse, medicarse, obtener materiales, crear herramientas, etc. En los últimos años esta relación se ha transformado, llegando a un punto crítico en la forma de vida urbana, debido a la falta de vegetación en este medio, esto se atribuye a la dificultad para disponer de áreas destinadas para tal función provocado por el crecimiento excesivo de las ciudades.

La ausencia de vegetación en la vida citadina del hombre trae consigo problemas de distintas índoles, desde ambientales hasta psicológicos; por tal motivo se han buscado nuevas formas que logren la integración de vegetación a la vida urbana,



**Imagen 13** . Debe existir una relación adecuada, armónica y ordenada entre la persona y la naturaleza. Fuente: <http://www.ecologismo.com>

La ecoética, también conocida como ética ambiental y ética medioambiental, es una disciplina que trata de aplicar los postulados morales a la acción del hombre respecto a la naturaleza. En esta disciplina se estudian los principios y las normas, los valores y los fines, las interacciones y las decisiones que permiten tener una relación adecuada, armónica y ordenada entre la persona y la naturaleza. La ecoética afecta al ámbito personal, social e individual, tanto en los intereses, necesidades y preferencias, como en los deseos con respecto al medio ambiente. La crisis ambiental de hoy obliga al hombre a reexaminar sus valores y alterarlos cuando sea necesario a fin de asegurar la supervivencia humana (Ocio Networks SL 2010).

### 2.1 Vegetación y el clima\_\_\_\_\_

El uso de la vegetación como elemento de control del microclima ha sido trabajado desde diversos ámbitos como la agronomía, climatología, ciencias forestales, etc. Fue en los años 70's a raíz de la crisis energética y el impulso del uso de energías "limpias", cuando se le consideró como un elemento fundamental en el diseño de arquitectura bioclimática, además del diseño de paisaje.

La presencia de vegetación en las ciudades, altera el balance energético del clima a escala local, provocando variaciones en la radiación solar que llega a la superficie, en la velocidad y dirección del viento, en la temperatura ambiente y en la humedad del aire. Estos efectos, aunque limitados, contribuyen en gran medida a mejorar la sensación de confort en los espacios exteriores urbanos, así como a amortiguar el impacto de los elementos climáticos sobre los edificios.

### 2.1.1 Variación en la Incidencia de Radiación Solar.

Entre los usos más importantes que se le ha dado a la vegetación tanto en el ámbito urbano como arquitectónico, es el control de la radiación solar. La aplicación más simple es la de proporcionar sombra, aunque existen otros efectos que no son tan evidentes. Del total de la energía solar incidente en la vegetación, las plantas absorben para realizar la fotosíntesis aproximadamente del 5 al 20%, reflejan entre 5 y 20%, disipan por evapotranspiración del 20 al 40%, emiten entre 10 y 15% y transmiten en el orden del 5 al 30% (OCHOA 1999).

Debido a que la radiación solar está compuesta por diferentes longitudes de onda, los porcentajes mencionados varían de acuerdo con el espectro que se esté manejando, en la tabla 2 se muestran valores promedio para diferentes longitudes de onda.

Longitud de onda $\mu\text{m}$	Reflexión %	Transmisión %	Absorción %
Fotosíntesis 0.38-0.71	9	6	85
Cercano infrarrojo 0.71-4.00	51	34	15
Onda corta 0.35-3.00	30	20	50
Onda larga 3.00-100.0	5	0	95

**Tabla 2.** Coeficientes promedio de reflexión, absorción y transmisión de una hoja verde para diferentes longitudes de onda. Fuente: Tabla elaborada por GARCIA, Ilse, con datos de OKE, T. R. "Boundary layer climates", Routledge, Londres 1990.

Estos datos son sólo un ejemplo de cómo actúa la vegetación en forma general (dado que se limitó al análisis de una hoja verde), por lo cual estos resultados cambian si se analizan otras partes de la planta, como densidad de follaje, tronco, ramas, etc.

Tipo de Superficie	Albedo %	Emisividad %
<b>Suelos</b>		
Húmedo oscuro cultivado	5-15	84-91
Húmedo gris	10-20	
Seco arenoso	25-35	
Húmedo arenoso	20-30	
Dunas de arena seca	30-75	
<b>Vegetación</b>		
Pasto	20-30	90-95
Campos verdes	3-15	97-98
Campos de trigo	15-25	
Pradera	10-30	
Chaparral	15-20	
Pastizal	25-30	
Bosque mixto	5-20	
Caducifolias sin hojas	15	
Caducifolias con hojas	20	
Coníferas	5-16	
Bosque pantanoso	12	
<b>Agua</b>		
Altura solar alta	5	92-97
Altura solar baja	95	92-97
Nieve fresca y limpia	70-95	99
Nieve vieja	40-70	82
<b>Superficies urbanas</b>		
Asfalto	5-15	95
Concreto	10-50	71-90
Ladrillo	20-50	90-92
Piedra	20-35	85-95
Pintura blanca	50-90	85-95
Pintura roja, verde, café	20-35	85-95
Pintura negra	2-15	90-98

En el diseño de control de radiación solar las especies vegetales más utilizadas son las caducifolias, especialmente los árboles, dado que generan condiciones ambientales más adecuadas de acuerdo a las estaciones del año, satisfaciendo de mejor manera las necesidades de calentamiento o enfriamiento en los espacios urbanos y arquitectónicos.

Otra propiedad radiativa de la vegetación es el albedo, que es la cantidad de radiación solar reflejada por una superficie, un valor de albedo de 1.0 corresponde a una superficie que refleja el 100% de la radiación total, mientras que un albedo de 0.0 se refiere a una superficie que absorbe toda la radiación solar incidente. La tabla 3 muestra ejemplos de valores de albedo de onda larga de algunos elementos encontrados frecuentemente en el paisaje urbano.

**Tabla 3.** Datos de albedo en relación a la emisividad de diferentes superficies. Fuente: Tabla elaborada por GARCIA, Ilse, con datos de OCHOA, "La Vegetación como Instrumento para el Control Microclimático", Universitat Politècnica de Catalunya, España 1999.

### 2.1.2 Variación en la Velocidad y Dirección del Viento.

El efecto que tiene la vegetación en relación al viento depende de la estructura urbana, de las características y disposición de los elementos urbanos. En un estudio se demostró el efecto significativo de la vegetación en relación al viento, donde dependiendo de la densidad de construcción, con un aumento del 10% en el área cubierta por árboles, puede reducir del 10 al 20% la velocidad del viento, y siendo el aumento del 30% puede reducirla del 15 al 35%. Los árboles conservan entre 50 y 90% este efecto en el viento aún sin follaje en temporada invernal (HEISLER 1989).

Las características de la barrera vegetal, como su forma, dimensión, densidad, permeabilidad, etc., influyen en su capacidad de protección contra la velocidad y dirección del viento.

Existen cuatro acciones que los elementos vegetales pueden ejercer sobre el viento para controlarlo (Ver imagen 14) (OCHOA 1999):

1. Obstrucción. Bloquea el flujo de aire en una zona.
2. Deflexión. Desvía el viento y disminuye su velocidad.
3. Filtración. Reduce la velocidad del viento al pasar por una barrera permeable.
4. Encauzamiento. Cambia la dirección del viento, conduciéndolo hacia una zona donde se requiera ventilación.

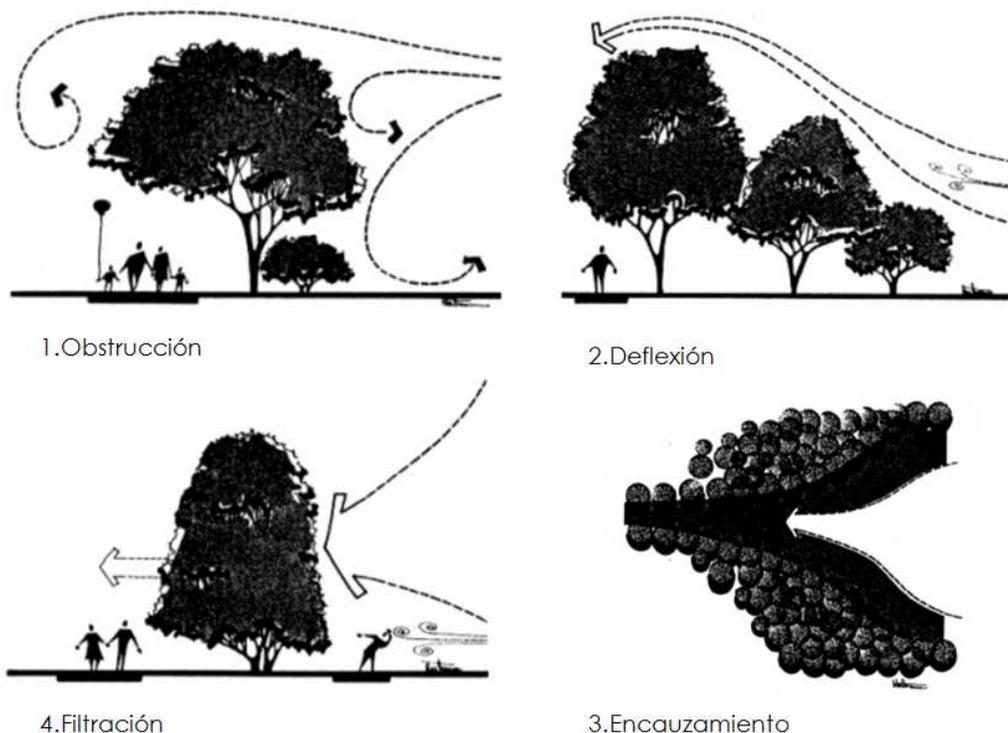
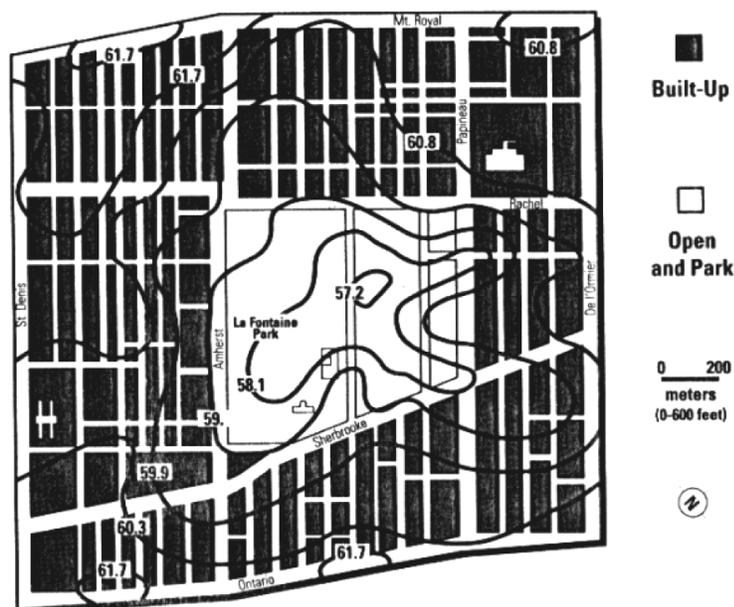


Imagen 14. Acciones de la vegetación sobre el viento.

Fuente: OCHOA, "La Vegetación como Instrumento para el Control Microclimático", Universidad Politécnica de Catalunya, España 1999.

### 2.1.3 Variación en la Temperatura y Humedad del Aire.

La existencia de vegetación en un área influye en la temperatura ambiente y en la humedad del aire en dicha zona debido a la protección de radiación solar y creación de sombras proyectadas sobre las superficies cercanas, también repercute en el fenómeno fisiológico de evapotranspiración en la vegetación, que es el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas. Estos cambios en la temperatura y humedad ambiental dependen de la cantidad y disposición de la vegetación, por lo tanto, en lugares poco vegetados dichos efectos serán muy poco notables, en cambio en lugares con gran presencia de vegetación el impacto será más notable, por ejemplo existen reportes de datos de Oke, en distintas ciudades donde la diferencia de temperatura ambiente entre zonas con y sin vegetación oscila entre los 16 °C (más de 3°F), por ejemplo, entre los parques urbanos y las zonas edificadas circundantes (Ver imagen 15).



**Imagen 15.** Distribución de las temperaturas en °F, en el LaFontaine Park y sus alrededores en Montreal, Canadá. Fuente: OCHOA, "La Vegetación como Instrumento para el Control Microclimático", Universidad Politécnica de Catalunya, España 1999.

Estudios similares se hicieron en el parque zoológico de Berlín, que cuenta con 212 ha. de superficie vegetal, ubicado en el centro de la ciudad, donde las diferencias de temperatura fueron de 5 a 7°C y la humedad relativa variaba hasta un 10% (OCHOA 1999).

## 2.2 La naturaleza urbana

El concepto de naturaleza urbana ha recibido diversos sinónimos en el ámbito de la investigación psicoambiental sobre los beneficios psicológicos de la naturaleza, entre algunos están los siguientes:

- a) espacios verdes urbanos
- b) espacios urbanos verdes al aire libre
- c) espacios vecinales verdes o espacios con cobertura vegetal

Se entiende por naturaleza urbana a los escenarios, espacios y objetos con contenidos naturales en diferentes escalas y formas de presentación dentro de un contexto urbano que las personas pueden adquirir, mantener, conservar, observar e incluso crear para sí mismas (MARTÍNEZ 2010).



**Imagen 16.** Ejemplo de naturaleza urbana en el desarrollo urbano Roppongi Hills, en Tokio Japón.  
Fuente: Earth Pledge, "Green Roofs. Ecological design and construction", Schiffer, 2005, pág. 68.

A diferencia del concepto de áreas verdes urbanas, el cual toma en cuenta la tipología de las áreas verdes basada en diversas clasificaciones que dependen del tipo de espacio o zona urbana en la que se ubiquen, y se emplea como indicador en la literatura internacional sobre la disponibilidad de dichos espacios por habitante urbano ( $m^2$  de áreas verdes por habitante); la definición de naturaleza urbana próxima considera los

espacios con contenidos vegetales tanto públicos como privados (Ver imagen 16). De igual forma, toma en cuenta la accesibilidad física y geográfica de los escenarios cotidianos a las personas.

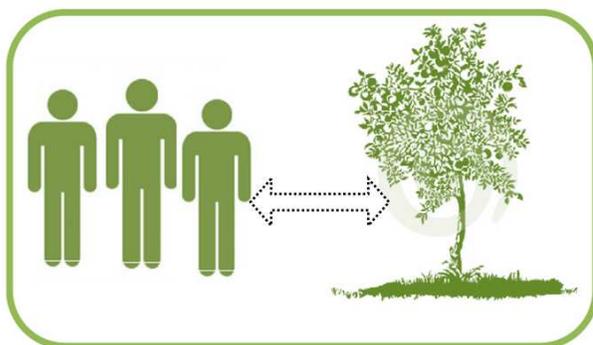
Otra de las características tiene que ver con la apreciación del valor psicológico proporcionado por el contacto de las personas con diversas manifestaciones de naturaleza en un contexto urbano. Dicha valoración puede evaluarse considerando algunas amenidades vegetales (presencia de macetas con plantas) y otros escenarios de mayor extensión (bosques urbanos).

## 2.3 Beneficios psicológicos de la naturaleza urbana\_\_\_\_\_

Las teorías sobre las experiencias con la naturaleza comparten una preocupación sobre la salud y calidad de vida de las personas. De ordinario tratan a dichas experiencias como un recurso potencial de una serie de beneficios psicológicos de importancia para los habitantes urbanos. Entre algunos de los beneficios más notables se encuentran cambios en la cognición, emoción y fisiología de las personas. Así como también efectos importantes en los cuales los procesos psicológicos pueden jugar un rol mediador, por ejemplo, un incremento en la interacción social y una reducción del dolor experimentado en condiciones de salud precaria. Estos cambios a su vez son valorados de modo positivo debido a que favorecen la efectividad y la capacidad adaptativa de las personas (MARTÍNEZ 2010).

La percepción de la naturaleza como elemento benéfico para el ser humano ha sido tratada por todo tipo de personas en todas las culturas, quienes han sostenido que los ambientes naturales son buenos para el cuerpo y la mente del ser humano. Dichas creencias son ratificadas a través de diferentes investigaciones científicas las cuales demuestran que la exposición a elementos naturales promueven beneficios cognitivos, psicológicos y fisiológicos.

Investigaciones demuestran que demasiada estimulación artificial como lo son los ambientes urbanos y la escasa o nula exposición a ambientes naturales pueden causar pérdida de la vitalidad, afectar la salud, fatiga mental, cuyo impacto conductual produce una propensión a cometer errores, distracción, tensión, irritabilidad, poca persistencia para resolver problemas, disminución en la conducta prosocial e incremento de la conducta agresiva (MARTÍNEZ 2010). Existen evidencias científicas de que la naturaleza en las zonas urbanas puede incidir favorablemente en las dimensiones físicas y sociales de los ambientes urbanos. Diversas investigaciones han documentado que la naturaleza puede ayudar a las personas a tener mejores respuestas ante el estrés cotidiano y contar con un mejor funcionamiento cognitivo y emocional. Dichas respuestas obedecen a la restauración psicológica, entendida como la renovación de los recursos físicos, psicológicos y sociales ante las demandas adaptativas que provienen de los escenarios sociofísicos (MARTÍNEZ 2010).



**Imagen 17.** Esquema de relación hombre-naturaleza. Fuente: GARCÍA, Ilse, "Apuntes de Psicología Ambiental", UNAM, México 2010.

El contacto con la naturaleza ayuda en la regulación y la gestión de nuestros recursos psicológicos, provoca emociones positivas y mejora el estado de ánimo de las personas, además logra mayores niveles de significado y coherencia, mejora la autoestima y el bienestar, consigue mayor participación y sociabilidad, etc. (ADHÉMAR 2008). Distintos enfoques psicológicos (evolutivo, conductual, cognitivo, psicodinámico, sistemas, humanista y transpersonal) se centran en diferentes aspectos de los beneficios psicológicos

de experiencias en la naturaleza, todos han demostrado que las experiencias de la naturaleza son deseables y saludables (DAVIS 2008).

### 2.3.1 Relajación y reducción del estrés.

Varios estudios han demostrado que existe recuperación más rápida de la tensión con un mayor contacto con la naturaleza debido a un efecto de relajación física, cognitiva y afectiva que tiene sobre las personas. Más de un centenar de estudios de investigación muestran que la reducción del estrés es un beneficio clave de percepción de la naturaleza, como lo han analizados Hartig, Mang, y Evans, Kaplan & Kaplan, entre otros (DAVIS 2008).

Se sabe que el estrés constante puede afectar nuestro sistema inmunológico, así como disminuir la capacidad para hacer frente a situaciones difíciles. Roger Ulrich ha realizado estudios que miden las respuestas fisiológicas de nuestro cuerpo provocadas por el estrés (Ver imagen 18). Él ha encontrado que las personas que ven a la naturaleza después de situaciones estresantes muestran una reducción en la respuesta del estrés fisiológico, aumenta su interés y mejora su atención, existe una disminución en sentimientos de miedo, ira o agresión (WOLF 1998).



Imagen 18. Acciones y efectos del estrés en el cuerpo humano. Fuente: GALARZA, Eliana, "Nuevas revelaciones sobre la epidemia del siglo XXI", Universidad Maimónides, 2006.

### 2.3.2 Sensación de bienestar.

Las investigaciones realizadas por Roger Ulrich, muestran que una visión de la naturaleza en lugar de un medio ambiente construido, desde la ventana de una sala de hospital facilita la recuperación del enfermo, conduce a un menor uso de servicios de salud de los reclusos, mejora el rendimiento de trabajo en entornos de trabajo, y aumenta satisfacción laboral. Por lo tanto la presencia de vegetación en las ciudades tendrá beneficios que abarcan tanto la salud física como la mental de los ciudadanos (DAVIS 2008). Esta sensación de bienestar incita a la población a lograr mejores y mayores resultados dentro de su área de acción, ya sea laboral, familiar, académico, etc., lo que genera beneficios en el desarrollo y funcionamiento de la ciudad.

Imagen 19. El contacto con la naturaleza dentro de las zonas urbanas permite que las personas tengan una sensación de bienestar. Fuente: Earth Pledge, "Green Roofs. Ecological design and construction", Schiffer, 2005, pág. 104.



### 2.3.3 Experiencias de restauración.

En el ambiente urbano donde existe una gran cantidad de tareas y trabajos que demandan la atención de las personas por grandes períodos de tiempo, las personas pueden llegar a un estado cognitivo de fatiga, lo que puede dar lugar a sentimientos de ansiedad o estrés, irritabilidad con los demás e incapacidad para poder concentrarse. Las investigaciones han demostrado que encuentros con la naturaleza ayudan cognitivamente a la recuperación de la fatiga y con ello la capacidad de contar con una mejor concentración (WOLF 1998).

Steven y Rachel Kaplan, de la Universidad de Michigan, y Terry Hartig, de la Universidad de Uppsala, han demostrado que las experiencias con la naturaleza ayudan a aliviar la fatiga mental. Como saldo de demasiada atención dirigida, la naturaleza ofrece interés intrínseco y un sentido de fascinación. Los efectos de restauración de un entorno natural conducen a una renovada atención y afecto positivo. Simplemente mirando las fotos de escenas de la naturaleza en comparación con escenas urbanas, lleva a mayor sensación de bienestar (DAVIS 2008).



**Imagen 20.** El contacto con la naturaleza ayuda cognitivamente a recuperarse de la fatiga y la capacidad de obtener una mejor concentración. Fuente: "Recibir la energía de los árboles", [Http: //uvanirisol.wordpress.com/](http://uvanirisol.wordpress.com/), Marzo 2011.

## 2.4 Aspectos paisajísticos

El diseño paisajístico considera la distribución de las especies vegetales en la creación de los espacios, por ello establece su ubicación tomando en cuenta aquellas características que determinan su crecimiento, por ejemplo los requerimientos de luz, sustratos, mantenimiento, además de considerar las relaciones entre otras especies.

La expresión formal de los espacios es determinado por la selección y distribución de las especies vegetales, contribuyendo así al diseño paisajístico. Una de las herramientas a usar es el módulo de plantación, dado que genera una expresión estética que evoca una estructura de la naturaleza, donde participan la diversidad, distribución, estratificación, abundancia y fisonomía de las especies.

Existen características específicas de las plantas que confieren cualidades a los espacios exteriores, entre ellas están las formales y sensoriales de las especies vegetales, aquellas que influyen en la concepción y percepción que el ser humano adquiere de los espacios verdes a través de su capacidad sensorial, por cualquier medio: la visión, la audición, la presión, el tacto, la temperatura, el gusto, el olfato y otros. Es importante conocer las

características fisonómicas de las plantas que dan estructuración al espacio, dado que permitirá un mejor manejo en el proceso de diseño paisajístico.

### 2.4.1 Textura y densidad del follaje.

La forma y dimensión de las hojas, su densidad, su inserción y disposición (Ver imagen 21); determinan la textura, la densidad, transparencia y el tipo de sombra que generan en el espacio. La textura o característica superficial de las hojas definen distintas sensaciones táctiles, y emiten mayor o menor brillo de acuerdo a las condiciones e intensidad de la luz que reciben en función del horario del día y la situación climática que predomina.



**Imagen 21.** Distintos tipos de texturas vegetales. Fuente: "1000 plantas y flores para el jardín", De Vecchi, Barcelona 2007, pág. 101.

La densidad del follaje nos da idea de la transparencia de la vegetación y de su capacidad para retener los rayos solares o no.

### 2.4.2 Permanencia del follaje.

La permanencia del follaje es otra de las características que influyen considerablemente en la imagen estética y por ende en su estética paisajística. De acuerdo a la permanencia de las hojas una planta puede ser caducifolia o perennifolia, es decir, cambiar sus hojas durante una época determinada o mantenerlas todo el año (Ver imagen 22).

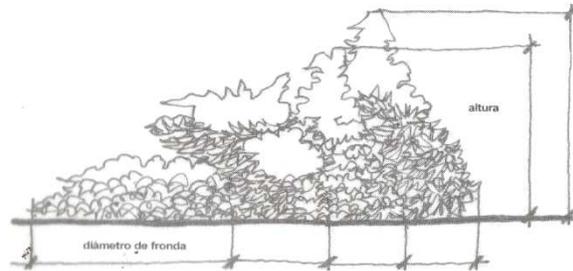


**Imagen 22.** Vista comparativa del mismo árbol en la época seca y en la época lluviosa. Fuente: "Efecto de tres especies de árboles sobre la Productividad Primaria Neta Aérea (PPNA) y composición florística de pasturas naturales en el trópico seco de Nicaragua", Memorias del VI Congreso Internacional Agroforestería para la Producción Pecuaria Sostenible, Panamá 2010.

### 2.4.3 Estructura.

El diseño paisajístico considera en la estructura de los elementos vegetales los siguientes aspectos importantes:

- Forma. Atribuida de acuerdo al hábito de crecimiento y a la textura de su follaje, repercute en la figura exterior que tendrá el elemento vegetal.
- Dimensiones (altura y diámetro). Determinarán la relación y ubicación de cada especie vegetal.



**Imagen 23.** Esquema de la estructura de un elemento vegetal. Fuente: CABEZA, A., "Los arbustos en el diseño de los espacios exteriores", UNAM, México 2000, pág. 26.

### 2.4.4 El color.

La vegetación es un elemento unificador del paisaje urbano, que tiene un rol importante en la estructuración y acondicionamiento de la trama urbana. Su incorporación en los espacios públicos y privados transforman la imagen y estructura de la ciudad, optimizando la calidad de vida ciudadana, desde las grandes áreas abiertas públicas, hasta espacios privados pequeños en las edificaciones. Su color definido fundamentalmente por el color de la masa foliar constituye elemento que define la paleta cromática del ambiente urbano (Ver imagen 24). La riqueza cromática de la vegetación denota diferentes situaciones, armonizando con el entorno o puntualizando contrastes con este. Con la cromaticidad aportada en las distintas zonas del espacio ocupado, se logran ambientes distintos. De acuerdo al carácter y significado del espacio, la vegetación puede promover conductas, enfatizar recorridos, y denotar enfoques.



**Imagen 24.** Distintos colores de vegetación. Fuente: "1000 plantas y flores para el jardín", De Vecchi, Barcelona 2007, pág. 87.

Autores como Martha R. Pol y sus colaboradores, consideran el color como una "herramienta de diseño que identifica y localiza figuras en el espacio y en el tiempo; que designa funciones al semantizar las propiedades que definen el carácter y el posible uso del espacio; que jerarquiza, destacando características que necesitan diferenciarse; y que promueve conductas ante requerimientos específicos". Uno de los aspectos que influye en la expresión cromática de la vegetación son los cambios estacionales.

La paleta cromática de la vegetación tiene mayor o menor influencia en el paisaje urbano en dependencia de la disposición, cantidad y densidad de las especies presentes en un entorno dado.

## 2.5 Propiedades ópticas de la vegetación\_\_\_\_\_

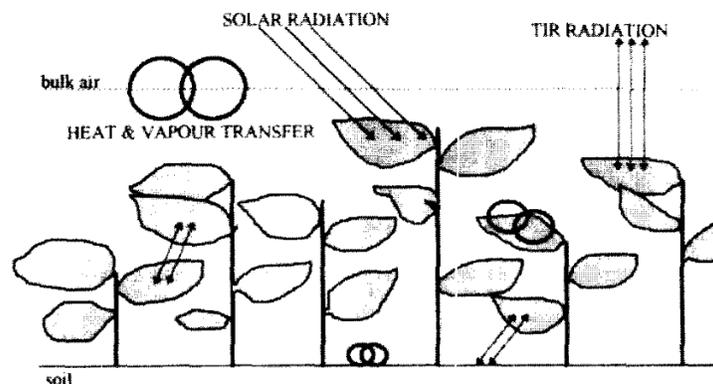
Las propiedades reflectivas de la vegetación dependen de tres tipos de variables (ANDRIEU y BARET 1994):

1. Estructura de la cubierta vegetal, principalmente caracterizada por su índice foliar, por la orientación de las hojas y por su distribución y tamaño.
2. Propiedades ópticas de los elementos reflectantes (tallos, hojas, flores y frutos).
3. Geometría de la observación, determinada por la orientación relativa entre el sol y la superficie y por la situación del sensor con respecto a esta última.

## 2.6 Función de la vegetación en la Naturación\_\_\_\_\_

Los elementos vegetales cumplen funciones muy importantes que afectan el comportamiento térmico de los sistemas de naturación, entre los que destacan (CARBAJAL 2009):

- a) Afectar los flujos de calor sensible y latente creados por la radiación debido a que:
  - Se reduce la radiación solar.
  - La radiación de onda larga de la superficie es interceptada.
  - Se reduce la velocidad del viento, por lo cual el efecto de convección disminuye.
  - Se reduce el escurrimiento de agua pluvial.
- b) La energía es almacenada por medio de dos mecanismos:
  - El calor sensible se almacena en la estructura de la cubierta, en el sustrato, así como en la vegetación.
  - La energía bioquímica es almacenada en la vegetación.
- c) El intercambio de calor latente ocurre en gran parte debido a la evapotranspiración.



**Imagen 25.** Esquema de los principales procesos de la vegetación en los sistemas de naturación.  
Fuente: PALOMO, Elena, "Analysis of the cooling potential of green roofs in buildings", Energy and buildings, 1998.

## 2.7 La elección de especies vegetales

La vegetación que puede ser utilizada en los sistemas de naturación extensiva debe cumplir con características específicas que definirán los criterios de selección, entre ellos están:



Diagrama 2. Criterios que debe cumplir la vegetación en los sistemas de naturación extensivos. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Imagen 26. Imágenes de vegetación en los sistemas de naturación. Fuente: SNODGRASS, Edmund, "Green Roof Plants", Timber Press, Portland, Oregon, 2006.

## 2.8 Medición de las características ópticas\_\_\_\_\_

Con apoyo del Instituto de Investigación de Materiales (IIM), UNAM, se realizaron las mediciones de las características ópticas de las especies vegetales utilizadas en el modelo de estudio (Ver fotografía 7), por medio del equipo de espectrofotometría.



**Fotografía 6.** Espectrómetro Shimadzu del Instituto de Investigación de Materiales (IIM), UNAM. Fuente: Archivo propio de GARCÍA, Ilse. México, 2011.

La espectrofotometría es el método de análisis óptico más usado en las investigaciones biológicas, se realiza por medio de espectrofotómetro que es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia. La absorción de las radiaciones ultravioleta, visibles e infrarrojas depende de la estructura de las moléculas, y es característica para cada sustancia química.

Cuando la luz atraviesa una sustancia, parte de la energía es absorbida; la energía radiante no puede producir ningún efecto sin ser absorbida. El color de las sustancias se debe a que éstas absorben ciertas longitudes de onda de la luz blanca que incide sobre ellas y solo dejan pasar a nuestros ojos aquellas longitudes de onda no absorbida.

El equipo utilizado es un Espectrofotómetro Shimadzu, Modelo UV-260 (Ver fotografía 6), el cual alcanza a registrar un rango de longitud de onda entre 350 y 900 nm.



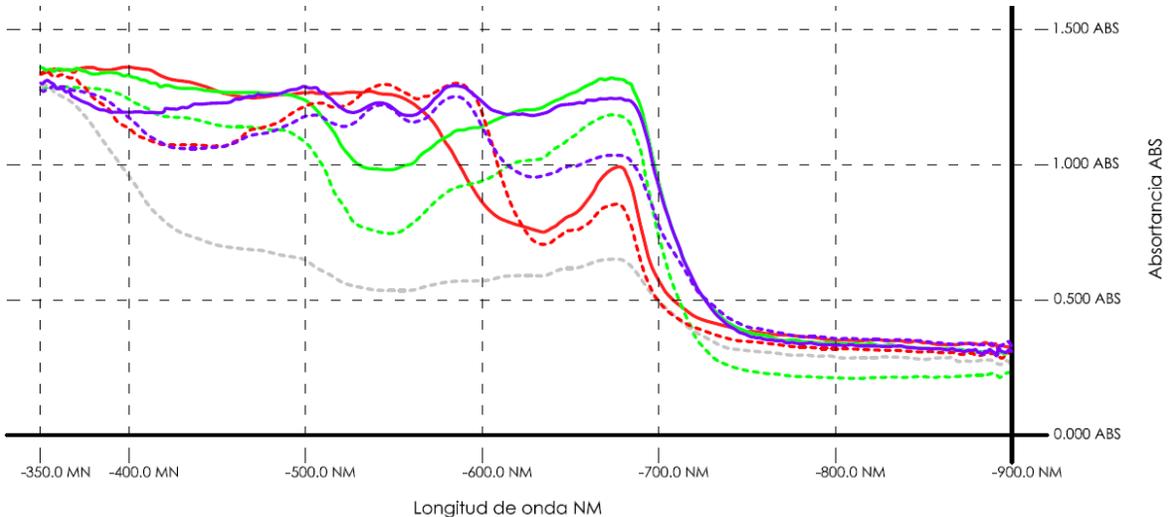
**Fotografía 7.** Imagen de las muestras de las especies vegetales colocadas en el espectrofotómetro. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse. México, 2011.

Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica). Las moléculas pueden absorber energía luminosa y almacenarla en forma de energía interna; esto permite poner en funcionamiento ciclos vitales como la fotosíntesis en plantas y bacterias. Cuando la luz (considerada como energía) es absorbida por una molécula se origina un salto desde un estado energético basal o fundamental, E1, a un estado de mayor energía (estado excitado), E2. Y sólo se absorberá la energía que permita el salto al estado excitado. Cada molécula tiene una serie de estados excitados (o bandas) que la distingue del resto de moléculas. Como consecuencia, la absorción que a distintas longitudes de onda presenta una molécula, esto es, su espectro de absorción, constituye una señal de identidad de la misma. Por último, la molécula en forma excitada libera la energía absorbida hasta el estado energético fundamental (ABRIL y BÁRCENA s.f.).

Longitud de onda aproximada	Color de luz que se absorbe	Color de luz que se refleja o ve
390-435	Violeta	Amarillo verdoso
435-490	Azul	Amarillo
490-580	Verde	Rojo
580-595	Amarillo	Azul
595-650	Naranja	Azul verdoso
650-780	Rojo	Verde azulado

En la región visible apreciamos el color de una solución que corresponde a las longitudes de onda de luz que transmite, no que absorbe. El color que absorbe es el complementario del color que transmite (Ver tabla 4). Por tanto, para realizar mediciones de absorción es necesario utilizar la longitud de onda en la que absorbe luz la solución coloreada.

**Tabla 4** . Apreciación del color. Fuente: ABRIL, y BÁRCENA, "Espectrofotetría", Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Córdoba.



**Gráfica 1** . Espectrograma que compara cada color de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México, 2011.

La gráfica 1 muestra los datos registrados por el espectrofotómetro de las especies analizadas en el modelo de estudio, donde se relaciona la longitud de onda (NM) con la Absortancia (ABS), se observa que las especies vegetales de color más oscuro concentran una mayor absortancia que las de color claro, esto quiere decir que absorben mayor cantidad de luz. En la tabla 5 se presenta los datos de cada una de las especies que fueron analizadas, registrando los picos máximos durante la lectura del espectrograma.

Color	Niña en barco <i>Secretasea purpurea</i>			Sedum rojo <i>Sedum rubrotinctum</i>			Dedo Moro <i>Mesembryanthemum educe</i>		
	Picos Max.	NM	ABS	Picos Max.	NM	ABS	Picos Max.	NM	ABS
Haz. Morado Oscuro	1	666.0	1.245	1	677.6	0.990	1	673.8	1.322
	2	587.2	1.319	2	540.0	1.270	2	489.2	1.263
	3	542.0	1.248	3	436.6	1.307	3	678.2	1.183
	4	501.6	1.299	4	400.6	1.364	4	625.8	1.014
	5	362.6	1.365				5	489.2	1.128
	6	351.8	1.400				6	363.4	1.289
Envés. Morado Claro	1	676.4	1.039	1	675.6	0.846	Dedo Moro <i>Mesembryanthemum educe</i>		
	2	587.0	1.256	2	585.8	1.285	Picos Max. NM ABS		
	3	543.4	1.227	3	540.2	1.288	1	678.2	1.183
	4	508.2	1.190	4	509.0	1.215	2	625.8	1.014
	5	372.4	1.288	5	371.8	1.299	3	489.2	1.128
Rojizo	Niña en barco <i>Secretasea purpurea</i>			Rojizo <i>Sedum rubrotinctum</i>			Blanco <i>Senecio cineraria</i>		
	Picos Max.	NM	ABS	Picos Max.	NM	ABS	Picos Max.	NM	ABS
	1	676.4	1.039	1	675.6	0.846	1	667.0	0.653
	2	587.0	1.256	2	585.8	1.285	2	370.6	1.234
	3	543.4	1.227	3	540.2	1.288			
	4	508.2	1.190	4	509.0	1.215			
	5	372.4	1.288	5	371.8	1.299			

**Tabla 5** . Datos de los picos máximos registrados en el espectrograma de cada color de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental. Fuente: GARCÍA, Ilse, México, 2011.

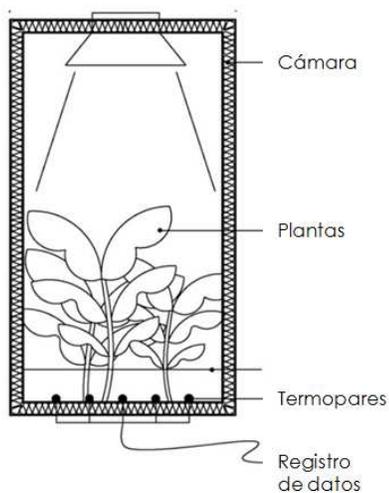
## 2.9 Medición de la Conductividad Térmica\_\_\_\_\_

A través de la colaboración con el Instituto de Investigación de Materiales (IIM), UNAM, y el proyecto PAPIIT: "Quinta fachada: una propuesta estética y técnica", se realizaron las mediciones de conductividad térmica de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental, para el cual se tomó como referencia un experimento realizado por Chih-Fang Fang, detallado en el artículo "Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops", del Departamento de Diseño y Gestión del Paisaje, de la Universidad Nacional de Tecnología Chin-Yi, Taiwan, en junio del 2007.

Las mediciones se realizaron por medio del uso de 2 cámaras térmicas de acrílico de 35 x 35 x 85 cm de doble pared, a la cual se les instalaron un sistema de termopares y un sensor de humedad, controlados por una unidad de adquisición de datos multifuncional marca Agilent, modelo 34980A (Ver Imagen 27).

Una vez colocado el contenedor y el sustrato dentro de las cámaras térmicas, se comenzó el proceso de calibración, que consistió en mantenerlas en condiciones controladas durante 24 horas, tener una diferencia constante de 18 °C entre la parte superior de la cámaras y el fondo del sustrato (medido a 10 cm de profundidad), y una humedad relativa del 60%.

Una vez terminada la calibración se inicio el proceso de medición, colocando dentro de las cámaras cada una de las especies vegetales, y de nuevo manteniendo una diferencia de temperaturas de 18 °C entre la parte superior de la cámara y el fondo del sustrato, además de mantener la humedad relativa al 60%, nuevamente por un tiempo de 24 horas continuas, las temperaturas de medición en cada planta fue la registrada en el punto medio de la altura total de cada especie vegetal, el registro de temperatura se tomó cada dos horas.

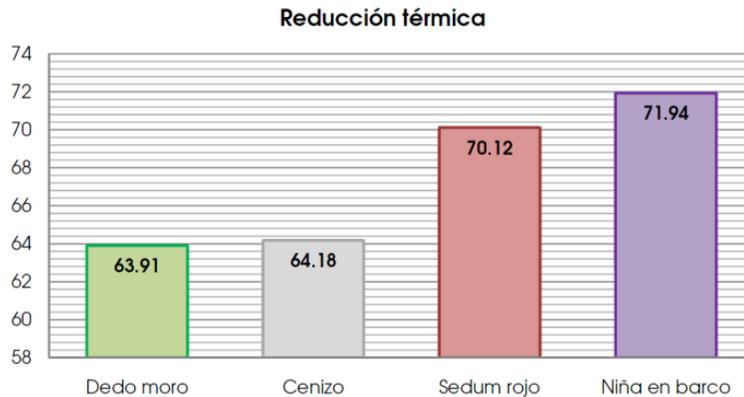


**Imagen 27.** Esquema de la cámara que mide la conductividad térmica.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



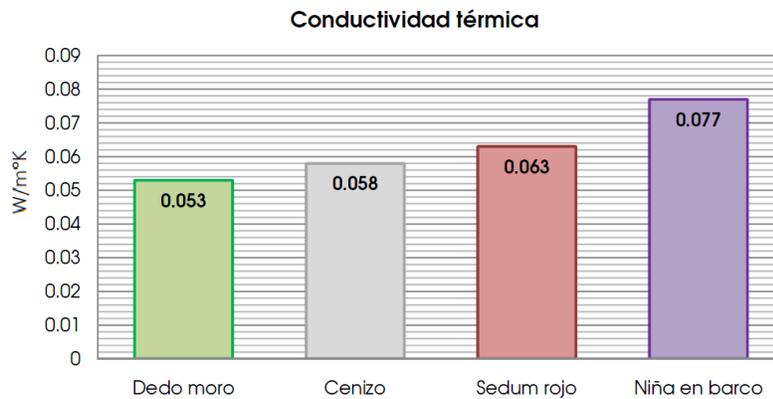
**Imagen 28.** Imagen de las especies analizadas.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 2 muestra los resultados de la reducción térmica registrada en cada especie vegetal, que es el porcentaje de reducción de temperatura entre la zona más caliente y la zona más fría de la cámara.



**Gráfica 2.** Datos de reducción térmica de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México, 2011.

La gráfica 3 muestra los resultados de las mediciones de conductividad térmica en unidades  $W/m^{\circ}K$  de las cuatro especies utilizadas en el modelo experimental de la cubierta naturada. Se observa que la especie *Secretasea purpurea*, con nombre común niña en barco, de color morado es la que registra la mayor conductividad, mientras que la de color verde es la que tiene la menor, habiendo una diferencia entre ellas de  $0.024 W/m^{\circ}K$ .



**Gráfica 3.** Datos de conductividad térmica de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México, 2011.

Los datos obtenidos en esta investigación, de conductividad térmica y propiedades ópticas de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental son los primeros que han sido documentados en nuestro país, por ello la importancia de contar con registros confiables que permitan su uso principalmente dentro de los modelos de cálculo y simulación del desempeño térmico de los sistemas de naturación.

Tanto el estudio de la vegetación como los resultados de laboratorio muestran que si existen diferencias significativas en las distintas especies vegetales, por lo cual su estudio es fundamental para poder realizar mejoras en los sistemas de naturación, dichas mejoras se verán reflejadas en la calidad y cantidad de beneficios aportados por estos sistemas, incluidos los referentes al tema de eficiencia térmica.

## Capítulo 3. LA PERCEPCIÓN DE LA ECONOMÍA AMBIENTAL EN LA NATURACIÓN

### 3.1 Problemática ambiental\_\_\_\_\_

Los problemas ambientales en el mundo, ha sido abordados desde diferentes perspectivas de acuerdo a la cultura desde donde se observa, siempre en presencia de la relación hombre-naturaleza. Dicha relación es determinada de acuerdo a el uso y consumo que la sociedad tiene sobre el medio ambiente, medido por medio de las necesidades, deseos y aspiraciones que el hombre proyecta al ambiente; es donde surge el concepto de impacto o degradación ambiental (Ver imagen 29).

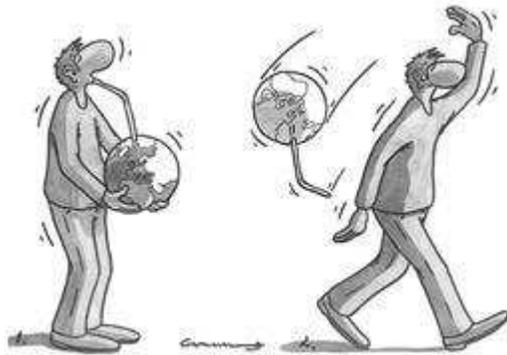


Imagen 29. Caricatura "usar y tirar". Fuente: GARCÍA, Juan, "La degradación Ambiental", Unión Iberoamericana de Municipalistas, España 2010.

Uno de los principales tipos de costos externos dentro de los sistemas de producción para la sociedad es el creado por la degradación ambiental, que generalmente no se incluyen en los sistemas de producción, lo que provoca el aumento del problema de impacto ambiental generado por las externalidades ambientales negativas de cada proceso.

Existen diferentes tipos de externalidades ambientales que generalmente se expresan según los vínculos existentes entre las partes involucradas (actor-afectado). Cuando se incluyen las externalidades en el mercado, las curvas de oferta del mercado subestimarán los costos marginales sociales de producción.

Algunos bienes implican beneficios externos, que son aquellos que se agregan a alguien ajeno a la decisión sobre consumo o uso del bien o recurso que causa la externalidad, ejemplo de ellos son los sistemas de naturación.

Definamos externalidad como "todo aquello" que se genera producto de una inversión y que habitualmente no es considerado en los análisis de costo beneficio que preceden la decisión del proyecto, éstas pueden ser negativas o positivas. Numerosas externalidades son también bienes públicos, lo que significa que no pueden ser compradas ni vendidas de la manera habitual, sino que están disponibles para todas las personas. Dado que no existe mercado para ellas, es difícil calcular su valor y su costo. Quiere decir también que los individuos no están normalmente motivados para producir externalidades que son bienes públicos de los que se benefician otras personas.

## 3.2 La percepción del paisaje urbano \_\_\_\_\_

Los seres humanos sentimos debido a los estímulos que son captados por nuestros sistemas sensoriales, lo que permite que exista una interacción con el ambiente y así percibir nuestro entorno. La interpretación que hace nuestro cerebro del mundo a partir de las sensaciones se conoce como percepción, por lo cual la percepción se da en forma individual.

Los sentidos son el mecanismo que tiene nuestro cuerpo para recibir, elaborar e interpretar la información proveniente de nuestro entorno. Además de los cinco sentidos externos con los que contamos: vista, oído, tacto, gusto y olfato, existen otros sentidos que nos ayudan a percibir y adaptarnos al ambiente:

- la termocepción es el sentido a través del que percibimos la temperatura,
- la nociocepción nos ayuda a percibir el dolor,
- la equilibriocepción nos da la sensación de equilibrio,
- la propiocepción es la percepción del cuerpo y la ubicación de sus partes y
- la interocepción es un sentido profundamente inconsciente que proporciona al cerebro información sobre el estado interno del cuerpo.

El cerebro ordena la realidad que le rodea a través de la percepción del espacio, haciendo uso de señales visuales, auditivas o de contacto puede determinar el tamaño, la distancia y la ubicación de uno mismo y de los objetos que le rodean.

El concepto de paisaje está referido fundamentalmente a la imagen de un área o territorio determinado. La apreciación y análisis de un paisaje debe darse a través de la observación general de los elementos que se captan a simple vista y por medio de instrumentos de observación y medida de los componentes no perceptibles exteriormente que dan razón de los factores y causas que generan la calidad de la imagen del paisaje y el valor de uso de éste (PÉREZ 2000).

El paisaje comunica a través de su imagen una información sobre la constitución de sus elementos y a través de la transformación de la energía y la materia en el tiempo y en el espacio, causada por la evolución natural y por la intervención del hombre.

La percepción de un paisaje depende de múltiples factores relacionados con la personalidad del observador que lo percibe (mecanismos sensitivos y perceptivos inherentes al propio observador, condicionantes educativos y culturales, relación del observador con el paisaje, etc.).

Los paisajes varían, tienen la propiedad de ser singulares, de estar en constante transformación y evolución. Un paisaje se compone de dos subsistemas (GOÑIZ 2007):

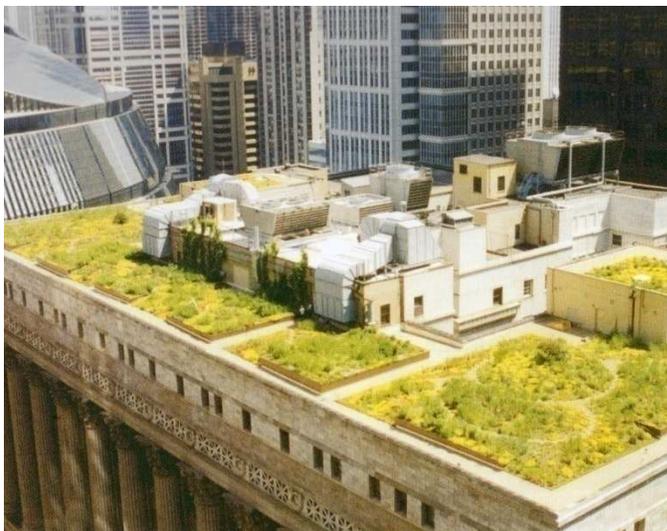
- el subsistema productor de paisaje, donde se incluyen los elementos bióticos, abióticos y humanizados.
- el subsistema de observadores o utilizadores del paisaje.

Para el caso urbano, por las dimensiones que tienen las ciudades, su percepción no es instantánea, se realiza a través de la suma de imágenes sucesivas contenidas en el medio físico durante un espacio de tiempo dado.

La ciudad como entorno creado por el ser humano, tiene un carácter diferente a otros ambientes. Su estructura visual está constituida por un conjunto de formas que pueden ser leídas con facilidad y donde muchas de ellas forman parte del sistema de orientación de los habitantes. Kevin Lynch ha nombrado los signos que mejor representan la ciudad y mediante los cuales los pobladores y visitantes captan la imagen paisajística, ellos son: Nodos, Mojones, Barrios, Sectores, Bordes y Sendas.

### 3.2.1 La vegetación en el paisaje urbano

La vegetación es uno de los componentes bióticos más importantes del paisaje (Ver imagen 30). En la ciudad, la presencia de la vegetación es muy importante, si se quiere comprender la importancia de la vegetación como elemento paisajístico basta experimentar las sensaciones que provoca su ausencia. Sin este elemento natural de importancia para la escena urbana, el espacio se convierte en un lugar inusable, inhóspito, poco atractivo, insalubre, vacío, etc.



**Imagen 30.** Vista de la vegetación en el paisaje urbano en Chicago.  
Fuente: Earth Pledge, "Green Roofs, Ecological design and construction",  
Schiffer, 2005, pág. 58.

La incorporación de vegetación en la ciudad no debe ser de forma aleatoria, ni improvisada, sino que debe de decidirse de acuerdo a una serie de parámetros muy bien analizados, entre los cuales se cabe destacar: las características fisonómicas inherentes a la propia vegetación; sus constantes geométricas (forma, volúmenes, grado de compacidad, orientación y dominancia de la forma); sus cambios cromáticos (tanto de fronda, flores y frutos); su expresión ambiental (contraste, continuidad, intensidad, reiteración, etc.), su textura y escala, y requerimientos de mantenimiento.

## 3.3 Beneficios del uso de naturación urbana\_\_\_\_\_

La naturación urbana debe considerarse como un bien privado en propiedad, pero al fin público ya que produce efectos para terceros o externalidades que no son susceptibles de internalizarse. Además tienen la característica de la no-rivalidad, lo cual significa que el bien no disminuye por el hecho de que lo consuma un número mayor de personas.

Las externalidades son definidas como efectos colaterales de una actividad económica. Pueden ser positivas o negativas; en el primer caso, no hay mercado para las externalidades, así que no pueden ser compradas ni vendidas. Sin embargo, sí es posible crear un mercado, en cuyo caso serán interiorizadas o valorizadas. Tal mercado abarca pagos por servicios ambientales (ROBINSON 2007).

Las externalidades de la naturación urbana son predominantemente positivas, es muy difícil encontrar efectos negativos de estos sistemas, cuanto no sea el que el financiamiento de ellos deba ser público y por lo tanto “los recursos compitan” con otras prioridades de inversión pública. Entre las externalidades positivas que la naturación urbana proporciona como bien, se encuentran los beneficios que brinda, tanto a escala arquitectónica como urbana, existen una gran cantidad de beneficios que han sido investigados y analizados, algunos otros necesitan estudiarse más para comprenderlos mejor; a continuación se mencionan algunos:

### 3.3.1 Mejoramiento de la calidad de aire.

Existen una gran y compleja variedad de procesos biológicos, físicos y químicos que están implicados en la transferencia de contaminantes del aire a la superficie de la vegetación, dado que las plantas actúan como filtros y superficies de reacción. Las partículas contaminantes se depositan en la superficie de las plantas por medio de tres procesos (Ver imagen 31):

- ✓ Sedimentación por gravedad.
- ✓ Impactación por remolinos de aire.
- ✓ Deposición por precipitación.

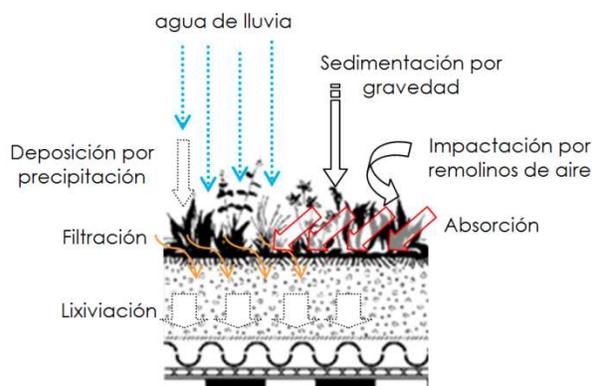


Imagen 31. Distintos tipos de depósitos de partículas en los sistemas de naturación. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse. México, 2011.

La sedimentación predomina en el caso de partículas de gran tamaño. La impactación es la principal forma de deposición cuando el tamaño de la partícula es del orden de 10 micras o más. Los contaminantes gaseosos pasan a la vegetación por combinación de las fuerzas de difusión y el flujo de movimiento de aire. Los gases pueden disolverse en la superficie exterior o pueden ser tomados por la planta a través de los estomas, fundamentalmente cuando la planta está seca o los gases tienen baja solubilidad al agua. La velocidad con la que se realiza la transferencia desde la atmósfera al interior

de la célula ésta regulado por los factores de resistencia que dependen de la atmósfera, los estomas y la mesófila de las hojas. Es importante destacar que cuando la superficie de la hoja se encuentra mojada, la velocidad de eliminación del contaminante aumenta 10 veces, ya que el 100% de la superficie se encuentra trabajando en el proceso de absorción (MÜLLER 1999).

Las plantas llegan a filtrar hasta el 85% de las partículas del aire (MANCHADO, BRITO y NEILA 2000), además captan CO<sub>2</sub> y liberan oxígeno. Un metro cuadrado de pasto puede remover anualmente 0.2 kg de partículas suspendidas en el ambiente (ARQMONIA 2009). Estudios realizados demuestran que 1.5 metros cuadrados de pasto, produce anualmente el oxígeno suficiente para satisfacer las necesidades anuales de oxígeno de un ser humano (ARQMONIA 2009). Además existen algunas especies que pueden absorber partículas nocivas que se presentan en forma de gas y aerosoles en las zonas urbanas. Investigaciones de Bartfelder demostraron que en las zonas céntricas de las ciudades altamente contaminadas, algunos de los metales pesados también son captados por la vegetación (MINKE 2004). La vegetación también reduce los gases de efecto invernadero.

### 3.3.2 Efecto de aislamiento térmico.

La vegetación sobre las cubiertas tiene un alto efecto de aislamiento térmico, sobre todo debido a los siguientes fenómenos:

- ✓ El colchón de aire encerrado hace el efecto de una capa de aislante térmico. Cuanto más denso y grueso sea éste, mayor será el efecto.
- ✓ Una parte de la radiación calórica de onda larga emitida por el edificio es reflejada por las hojas y otra parte absorbida. Esto último disminuye la pérdida de radiación de calor del edificio.
- ✓ Una densa vegetación impide que el viento llegue a la superficie del sustrato. Debido a la ausencia de movimiento por aire, la pérdida de calor por efecto de viento disminuye.
- ✓ La formación de rocío aumenta la temperatura en la capa de vegetación. De modo que por este mecanismo la pérdida de calor transmitida se reduce.

### 3.3.3 Aislamiento acústico.

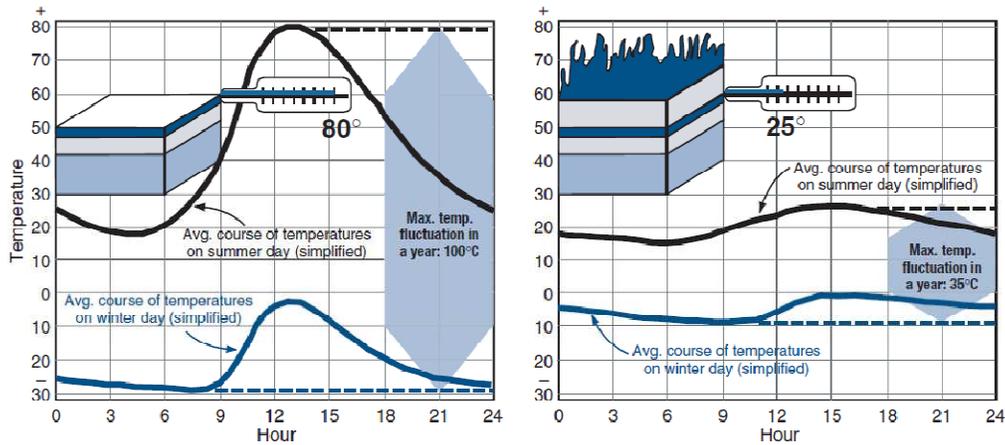
Las plantas reducen el ruido mediante absorción (transformación de la energía sonora en energía de movimiento y calórica), reflexión y deflexión (dispersión). En las cubiertas verdes el mayor efecto de absorción acústica es por medio del sustrato, diversas investigaciones han demostrado que con una capa de sustrato con un espesor de 12 cm se consigue una absorción de 10 dB, y para un espesor de 20 cm aproximadamente 46 dB (MINKE 2004).

Podemos observar que la naturación disminuye la contaminación acústica, mejora la calidad de vida y servicios en las zonas aledañas a focos sonoros, lo que permite mejores posibilidades de desarrollo conjunto entre industrias y viviendas, lo cual sería una solución a la descentralización industrial y un nuevo esquema de desarrollos urbanos productivos y por ende un reacomodo en las economías locales y regionales, nuevos desarrollos aeroportuarios, industriales etc. Es factible pensar en focos económicos a partir de un nuevo esquema que conjugue las industrias y las viviendas verdes con base a las regiones en las que se establezcan nuevos esquemas urbanísticos y de producción en las ciudades.

### 3.3.4 Prolongación de la vida útil de la cubierta.

Los sistemas de naturación ayudan a proteger las cubiertas de fluctuaciones extremas de temperatura, los efectos negativos de la radiación ultravioleta y los daños accidentales de tráfico peatonal (STVEN y KUHN 2001). En la imagen 32 se observa graficas comparativas de las fluctuaciones entre una cubierta naturada y otra sin naturar.

La naturación urbana ahorra gastos en mantenimiento de las edificaciones al prolongar la vida útil de la cubierta, lo que hace que los recursos destinados antes para tal motivo sean activados en otros sectores productivos. Se ha comprobado en múltiples experiencias que las cubiertas verdes son un valor agregado que aumenta el costo comercial de los edificios. Este fenómeno de aceptación por parte del usuario se ha presentado en edificios con todo tipo de uso (residencial, oficinas, hoteles, edificios para la recreación y el esparcimiento, hospitales, industrias, etc.). Por ejemplo en los hoteles que incorporan estos sistemas de naturación se ha comprobado que el valor adicional en las tarifas de las habitaciones con vista a cubiertas verdes es sostenible y ha ayudado a mantener los niveles de ocupación de los huéspedes (IBÁÑEZ 2008).



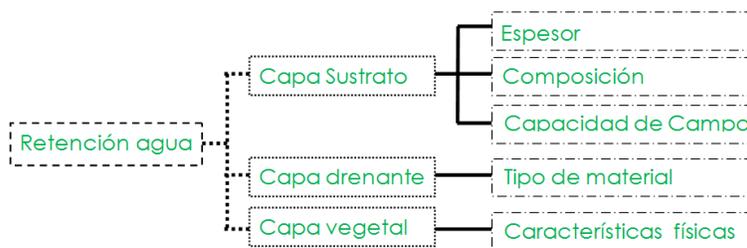
**Imagen 32.** Gráficas comparativas de las fluctuaciones de temperatura de una cubierta convencional y una cubierta naturada. Fuente: TANNER, y SCHOLZ-BARTH. "Green Roofs" Energy Efficiency and Renewable Energy. Departmente of Energy, 2004.

### 3.3.5 Regulación de la humedad.

La vegetación reducen las variaciones de humedad, específicamente cuando el aire está seco evapora una considerable cantidad de agua y elevan así la humedad relativa del aire. Un metro cuadrado de plantas puede evaporar más de 1/2 litro de agua en un día cálido, y hasta 700 litros anualmente (ARQMONIA 2009). Por otra parte, las plantas pueden disminuir la humedad del aire con la formación de rocío.

### 3.3.6 Capacidad de retención de agua.

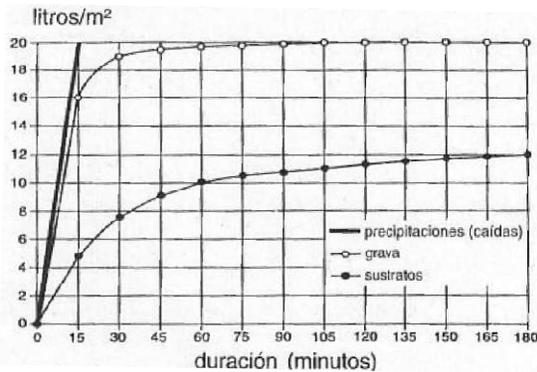
En los sistemas de naturación el agua de lluvia es almacenada en el sustrato, de donde es absorbida por las plantas y luego devuelta a la atmósfera mediante el proceso de evaporación y transpiración. Dependiendo de la intensidad de las precipitaciones y características del sustrato, una cubierta verde puede eliminar la escorrentía de una edificación y reducir la tasa de flujo máximo y el volumen del sistema de alcantarillado. Las cubiertas verdes se estiman para absorber, filtrar, retener y almacenar un promedio de alrededor de 75 por ciento de la precipitación anual que cae sobre ellas (TANNER y SCHOLZ-BARTH 2004). En una prueba del Instituto del Estado Federado de Baviera para Viticultura y Horticultura en Veitshöchheim, se determinó que en una cubierta con un sustrato de 10 cm de espesor, para una intensidad de lluvia de 20 l/m<sup>2</sup> en 15 minutos, en el mismo tiempo, solamente desaguan 5 l/m<sup>2</sup>, contra 16 l/m<sup>2</sup> en un techo de grava (MINKE 2004)(Ver imagen 33).



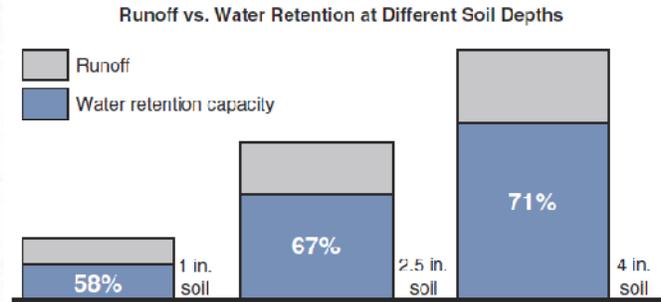
**Diagrama 3 .** Esquema de los elementos que influyen en la capacidad de retención de agua en los sistemas de naturación. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Pero una cubierta verde no sólo reduce el volumen de agua de lluvia que se vierte desde la cubierta, sino que retarda el momento en que esto ocurre, debido al tiempo que tarda el sustrato en saturarse. Esto genera una disminución del volumen de agua que llega a los sistemas de drenaje en los momentos de fuertes lluvias. La cantidad de retención de aguas pluviales en una cubierta verde depende del sistema de naturación usado: las características del sustrato como

capacidad de campo, porosidad, textura, espesor y también del sistema de drenaje (Ver diagrama 3). Estudios realizados muestra la cantidad de retención de agua con respecto al espesor del sustrato, donde para un espesor de 2.5 cm se puede mantener un promedio de 58% de la precipitación anual, y cuando el espesor aumenta a 6 cm también aumenta la retención a un promedio de 67% y finalmente, cuando el sustrato es de 10 cm de espesor pueden mantener un promedio de 71% de la precipitación anual (TANNER y SCHOLZ-BARTH 2004)(Ver imagen 34).



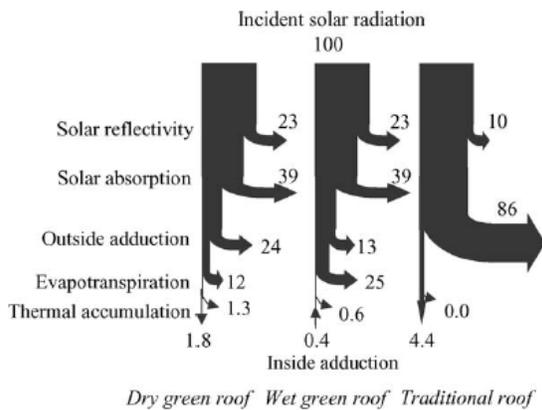
**Imagen 33.** Gráfica del desagüe pluvial de una cubierta con un sustrato de 10 cm de espesor en comparación con una cubierta plana con grava. Fuente: MINKE, Gernot. "Techos verdes". Fin de siglo. Montevideo, Uruguay 2004.



**Imagen 34.** Gráficas comparativas entre retención de agua pluvial y espesor de sustrato. Fuente: TANNER, & SCHOLZ-BARTH, "Green Roofs", Energy Efficiency and Renewable Energy. Department of Energy. 2004

### 3.3.7 Reduce el efecto isla de calor.

El efecto de isla de calor urbana es el aumento de la temperatura en zonas urbanas y suburbanas en relación con los alrededores, debido al aumento de áreas pavimentadas y superficies duras.



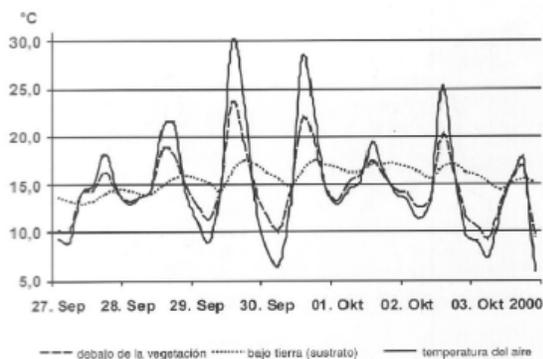
**Imagen 35.** Gráficas Comparación de los intercambios energéticos de una cubierta verde seca, húmeda y una convencional, a partir de 100 unidades de radiación solar incidente durante el verano. Fuente: LAZZARIN, Renato M., Francesco CASTELLOTTI, y Filippo BUSATO. Experimental measurements and numerical modelling of a green roof. Científico, Vicenza, Italia: Elsevier, 2005.

### 3.3.8 Regulación de la temperatura.

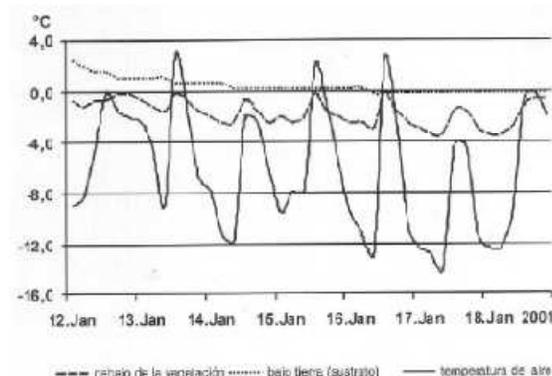
La planta extrae calor del ambiente, por medio de procesos fisiológicos de la vegetación como son la evapotranspiración, la fotosíntesis y la capacidad de almacenar calor de su propia agua. Este efecto de enfriamiento, que se hace perceptible fundamentalmente en los días cálidos de verano, puede demandarle el 90% de la energía solar consumida. Con la evaporación de un litro de agua son consumidos 2,2 MJ (530 Kcal) de energía. La condensación del vapor de agua en la atmósfera, pasa a formar nubes, donde la misma

cantidad de energía calorífica es liberada nuevamente. Lo mismo sucede cuando por la noche se condensa la humedad en las plantas. La formación de rocío matinal en fachadas y cubiertas verdes trae consigo una recuperación del calor. Por lo tanto, las plantas solas pueden, a través de la evaporación y la condensación del agua, reducir las oscilaciones de temperatura. Este proceso se fortalece aun más por la gran capacidad de almacenamiento de calor del agua existente en las plantas y en el sustrato, así como también a través de la fotosíntesis, ya que por cada molécula de  $C_6H_{12}O_2$  (glucosa) generada, son consumidos 2,83 kJ de energía. Pero no sólo mejora la temperatura ambiental sino que también aumenta la eficacia térmica de la cubierta, por lo que la edificación es beneficiada, logrando mayores índices de confort ambiental al interior y, disminuyendo consumos energéticos por acondicionamiento de aire. En las imágenes 36 y 37 se muestran los resultados de las mediciones realizadas a una cubierta verde en Kassel, Alemania, compuesta de un sustrato de 16 cm de espesor, la temperatura exterior al medio día es de 30 °C, en la vegetación 23 °C y bajo la capa de sustrato es de 17.5 °C. Las mediciones realizadas en invierno, dicen que la temperatura exterior fue de -14 °C, y de 0 °C bajo la capa de sustrato. Las curvas aclaran que una cubierta verde en verano tiene un efecto de enfriamiento considerable y en invierno muestra un muy buen efecto de aislación térmica.

Pero la naturación no sólo mejora la temperatura ambiental sino que también aumenta la eficacia térmica de la cubierta, por lo que la edificación es beneficiada, logrando mayores índices de confort ambiental al interior, lo que trae como consecuencia mayor productividad de las personas, además de disminuir los consumos energéticos por acondicionamiento de aire, eliminando gasto en recursos energéticos y económicos.



**Imagen 36.** Gráfica de resultados de mediciones de temperaturas en una cubierta verde con un sustrato de 16 cm medidas durante una semana de verano en Kassel, Alemania. Fuente: MINKE, Gernot. "Techos verdes", Fin de siglo, Montevideo, Uruguay 2004.



**Imagen 37.** Resultados de mediciones de temperaturas en una cubierta verde con un sustrato de 16 cm medidas durante una semana de invierno, Kassel, Alemania. Fuente: MINKE, Gernot. "Techos verdes", Fin de siglo, Montevideo, Uruguay 2004.

### 3.3.9 Protección contra incendio.

La naturación en las cubiertas ofrece una protección contra incendio para cubiertas propensas a tomar fuego (STVEN y KUHN 2001). En Alemania las cubiertas verdes son válidas como incombustibles. Una cubierta verde con 20 cm de sustrato de tierra y arcilla expandida, según Dürr (1995), tiene la capacidad de almacenar 90 mm de agua (igual 90 litros por  $m^2$ ) (LAZZARIN, CASTELLOTTI y BUSATO 2005).

### 3.3.10 Creación de hábitats.

La vegetación es necesaria para la conservación de muchos organismos dentro de las áreas urbanas. Una cubierta verde se puede convertir en el hogar de fauna menor, sobre todo aquellas cubiertas diseñadas para tener poco mantenimiento, ya que será un lugar por el que las personas transitarán pocas veces. Contribuyendo así a la conservación de la biodiversidad (ARQMONIA 2009). Una oportuna selección de las especies vegetales que constituirán los espacios verdes, podrían garantizar fuentes de alimento, vivienda y descanso a animales. Las cubiertas verdes crean nuevos hábitats naturales para las plantas, las aves y los insectos, contribuyendo a la inserción de estos en la ciudad y promoviendo la continuidad de estas especies en los lugares de donde son originarias. La protección y aumento de fauna menor en las áreas urbanas promueve el equilibrio ambiental, apoyando el ciclo de vida natural de las especies. Los sistemas de naturación pueden incluir especies vegetales amenazadas, apoyar a su producción y conservación, creando micro jardines botánicos naturales.

### 3.3.11 Efecto psicológico.

Desde el punto de vista social y psicológico, según Givoni, las áreas verdes en espacios urbanos presentan una serie de beneficios que también los tienen la implantación de cubiertas verdes (MANCHADO, BRITO y NEILA 2000). La creación de atractivas visuales dentro de las zonas urbanas por medio de la vegetación aumenta la calidad de vida ciudadina (Ver imagen 38). Se caracteriza a la calidad de vida como un concepto que describe la resultante funcional del estado conjunto de las condiciones biológicas, socioculturales y psicológicas de los individuos, estado que a su vez define tanto el modo de ajuste a las situaciones en que el comportamiento, como práctica concreta, tiene lugar, así como los resultados o efectos que dicha práctica tiene sobre el entorno y sobre el propio organismo (CARPIO, y otros 2000), y la naturación tiene efectos sobre el hombre que mejoran sus actitudes, su productividad, su concentración, ejemplo de ello es que en varios países también se han llevado a cabo investigaciones que indican que las cubiertas verdes influyen en la salud física y mental de los pacientes en hospitales. En Estados Unidos existen campañas para implantar más espacios verdes en instituciones de salud como un mecanismo para incentivar la pronta recuperación de los pacientes (IBAÑÉZ 2008).



**Imagen 38.** El uso de naturación crea atractivas vistas visuales dentro de las zonas urbanas. Fuente: <http://www.greenroofs.com/projects/mec/mec7.jpg>

Los sistemas de naturación en las edificaciones no sólo proporcionan beneficios ambientales y energéticos, también representa una propuesta para mejorar la calidad visual de las ciudades y de cada edificación. Esto se logra a través de una experiencia estética por medio del diseño paisajístico de los sistemas de naturación, con el objetivo de despertar actitudes y sentimientos que repercutan en la calidad de vida de la población, tarea urgente en las zonas de gran densidad demográfica, donde se pierde el contacto

con la naturaleza. Por lo tanto la reparación urbana exige imaginación y la participación de diversas disciplinas, capaces de entender a la ciudad como un sistema donde se congregan los aspectos urbanos, técnicos, de la planificación, pero también se requiere del conocimiento ambiental y muy especialmente una mirada estética que permita entender el espacio como el cuenco de herencia, aspiraciones, sueños y utopías, donde el arte es el mejor mensajero, capaz de amalgamar ciencia y técnica en espacios habitables y humanos.

Las áreas verdes en las zonas urbanas están sometidas a rápidos cambios, tanto sociales, económicos y medioambientales. Muchas de sus características y valores específicos están en peligro de extinción, aun cuando son muy apreciados por la sociedad, por eso la aplicación de sistemas sustentables a nuestra vida cotidiana es un tema relevante en la actualidad, debido principalmente al deterioro que se ha causado al medio ambiente. Hoy en día es indispensable comenzar a utilizar elementos, sistemas, productos, equipos y herramientas que no causen o minimicen su impacto negativo al ambiente; un ejemplo de ello son los sistemas de naturación, ya que brindan múltiples beneficios, muchos por las propias externalidades del sistema, que generan mejoras a distintas escalas. El uso de naturación en las edificaciones es una respuesta a esta demanda de acciones responsables y consientes de protección ambiental, ya que el bienestar general de las personas tiende a ser determinante en la demanda de externalidades positivas que encuentra en el lugar donde vive.

Valorar las externalidades no es un simple y estéril ejercicio económico, ni quiere decir simplemente que hay que darles un precio. Los distintos tipos de externalidad necesitan distintos tipos de evaluación, y lo que podría servir para valorar la biodiversidad podría ser inútil para valorar la contaminación. Algunos enfoques tratan de asignar un precio a la externalidad, mientras que otros defienden un foco más "abierto" para discernir el valor. Cuando la valoración está asociada a un precio, podría tratarse sólo de una noción basada en lo que las personas aseguran que pagarían por ella (declaración de preferencias). Otra alternativa podría estar basada en discernir el porcentaje de gasto actual de la población relacionado con esa externalidad (preferencia manifiesta). La elección del método de valorización resulta de suma importancia, ya que métodos poco adecuados pueden desembocar en estimaciones parciales. Será de mayor utilidad valorar un paquete de beneficios, por ejemplo la naturación urbana, sin tratar de descomponerlo en distintos elementos.

Necesitamos realizar un análisis sobre las externalidades urbanas y ambientales positivas de grandes acciones a escala metropolitana, para poder crear instrumentos cualitativos y cuantitativos a considerar en los esquemas de toma de decisión a cualquier escala, tanto privada, pública y de gobierno, incluidos los grados de intervención y participación de todas las personas que invierten en proyectos de infraestructura de las ciudades (GALILEA, REYES y SANHUEZA 2007).

La externalidad principal que estudia esta investigación es la del efecto térmico que provoca al interior de las edificaciones el uso de sistemas de naturación en cubiertas, pero para poder catalogarla como una externalidad positiva es necesario saber si dicho efecto es benéfico, solamente será así si genera o mejora la sensación de confort térmico del espacio, para saberlo es preciso estudiar qué elementos intervienen y cómo se logra esta sensación en las personas.

## Capítulo 4. CONFORT TÉRMICO.....

Existen diversas definiciones para confort térmico, según la norma ISO 7730 es "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico", mientras que la ASHRAE 55-1992 indica que "el confort térmico en un espacio determinado se alcanza cuando el 80% de las personas que se encuentran ahí expresan satisfacción".

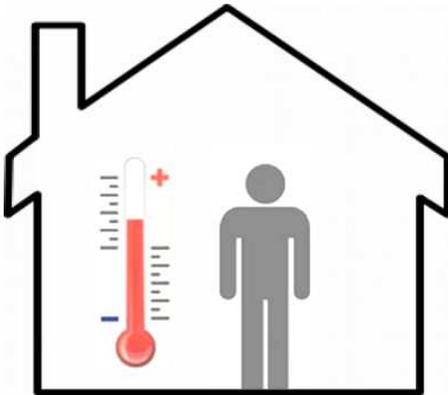


Imagen 39. Las edificaciones deben de proveer a los usuarios de un ambiente térmico confortable.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Todo ser vivo debe de encontrarse en un ambiente térmico adecuado, que no repercuta en sus rendimientos físicos y mentales; un ambiente inapropiado provoca estrés térmico, el cual influye negativamente en la salud de los usuarios. Para llegar a la sensación de confort, tiene que existir un balance térmico generado por medio del buen manejo de pérdidas y ganancias de calor en los espacios, que permita que el usuario conserve una temperatura corporal normal, es entonces cuando se alcanza el equilibrio térmico, justo en el momento en que el cuerpo se encuentra en una condición de homeostasis.

Es difícil que todos los usuarios de un espacio logren un estado de confort térmico, sin embargo, intentando cuantificar la sensación de bienestar térmico de la mayoría de ellos, diferentes autores han definido una "zona de confort" como el área en el ábaco psicométrico que contiene los rangos en que pueden fluctuar los parámetros ambientales, para que en determinado ambiente la mayoría de ellos mantengan una sensación de confort térmico.

El confort se refiere de manera más puntual a un estado de percepción ambiental momentáneo (casi instantáneo), el cuál ciertamente está determinado por el estado de salud del individuo, pero además por muchos otros factores, los cuales se pueden dividir en forma genérica en dos grupos: los factores endógenos, internos o intrínsecos del individuo, y los factores exógenos o externos y que no dependen del individuo.

La sensación térmica varía de acuerdo a una serie de parámetros (ROSALES s.f.):

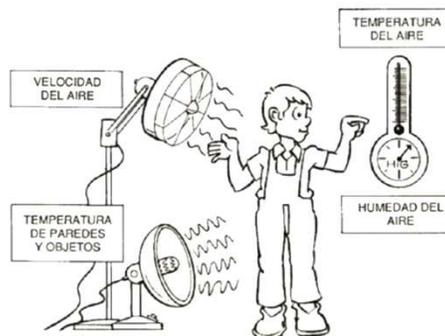
- Parámetros físicos del lugar, como la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y el entorno radiante. En resumen las condiciones climatológicas del sitio.
- Parámetros circunstanciales como calor metabólico, la vestimenta y el tiempo de permanencia de los usuarios en el ambiente.
- Parámetros fisiológicos y psicológicos de los usuarios.

La modificación de cada parámetro afecta la manera de cómo se percibe el ambiente térmico, por lo que la posibilidad de lograr confort depende de un adecuado manejo de todos ellos.

## 4.1 Parámetros físicos

**4.1.1 Temperatura.** La temperatura atmosférica es el indicador de la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire, depende de la energía generada por el Sol. Es comúnmente utilizada como índice del estado térmico de un ambiente, sin embargo, es necesario incluir otros parámetros físicos (humedad, velocidad del aire, radiación solar), para explicar la sensación térmica.

Cuando la temperatura del aire esté por debajo de la temperatura de la piel se producirá una transferencia de calor por convección desde la piel hacia el aire. En caso contrario será el aire el que transfiera calor hacia la piel.



**Imagen 40.** Parámetros físicos que modifican la sensación térmica del espacio. Fuente: <http://www.jmcprl.net/CALOR/MINKE, 2010>.

**4.1.2 Humedad.** Se denomina humedad al contenido de vapor de agua que tiene el aire, es un factor importante debido a que influye en varios fenómenos, uno de ellos es la tasa de evaporación del sudor, que es una de las respuestas fisiológicas del cuerpo humano para disipar calor, ya que a menor humedad en el ambiente mayor es la tasa de evaporación del sudor y por tanto mayor la pérdida de calor por evaporación del cuerpo.

La humedad también influye en la transferencia de calor por convección de la piel hacia el aire, debido a que a mayor contenido de agua en el aire el calor específico de la mezcla aumenta por efecto del gran calor específico del agua, lo que hace que el flujo de calor del cuerpo hacia el aire aumente en el caso de que la temperatura del último sea inferior a la de la piel. La norma ISO 7730 recomienda el rango de 30% a 70% de humedad relativa para tener una condición de confort ambiental.

Existen unos límites extremos que pueden ser negativos: por debajo del 20% de humedad, aumenta el peligro de infección por la sequedad de las mucosas; con temperaturas bajas, el aire muy seco aumenta el disconfort y en situaciones cálidas, cuando la

Temp. °C	Humedad relativa %					
	30	50	70	80	90	100
20	20	21.1	22.2	22.8	23.4	23.9
25	25	26.7	27.8	28.9	30.0	31.1
30	30	32.2	35.0	37.2	37.8	39.4
35	35	38.8	42.2	44.4	46.7	48.9
40	40	45.0	50.0			

**Tabla 6.** Sensación térmica en función de la humedad relativa del aire. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de FERNÁNDEZ, Felipe, "Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos "Serie Geografía vol. 4, 1994.

humedades sobrepasa el 60% y, sobre todo, el 80%, la sensación de calor aumenta, ya que se produce el sudor, pero no evaporación, dando lugar al clásico bochorno o calor húmedo, bastante más inconfortable que el calor seco (FERNÁNDEZ 1994) (Ver tabla 6). Se entiende ahora la importancia de la humedad del aire en la sensación térmica, dado que es ella la que determina la eficacia de la evaporación del sudor, tanto en la piel como en los pulmones y vías respiratorias, condicionando la disipación del calor sensible del cuerpo.

**4.1.3 Velocidad del aire.** El movimiento del aire es otro de los parámetros ambientales que deben ser tomados en cuenta para definir la zona de confort térmico ya que el intercambio de energía en forma de calor que se lleva a cabo entre la superficie de piel del sujeto y el aire es muy importante.

El aire influye en la sensación térmica de dos maneras: modificando la cantidad de calor intercambiado por convección y aumentando la eficacia de la evaporación del sudor. Si la temperatura del aire es menor que la de la piel, la ventilación puede incrementar significativamente las pérdidas convectivas de calor. Ello ocurre porque el aire en movimiento entra en contacto directo con la piel caliente al fluir alrededor de ella y porque la convección no sólo depende de la diferencia de temperatura entre el aire y la superficie a la cual roza, sino también de la velocidad con que lo haga.

Por otro lado, por efecto de la viscosidad del aire se crea una capa próxima a la piel que se mantiene adherida a ella llamada de manera genérica capa límite. Si la velocidad del aire es nula o muy pequeña esta capa se calienta hasta temperaturas cercanas a la de la piel requiriéndose cierto grado de ventilación para renovarla.

En climas regularmente húmedos dicha capa se puede saturar como consecuencia de la evaporación del sudor, requiriéndose igualmente su sustitución por aire no saturado a los fines de mantener la eficacia de la evaporación. En ambientes muy secos la evaporación es sobradamente eficiente, por lo que la velocidad del aire tiene poca incidencia en el proceso de enfriamiento evaporativo de la piel. En ambientes muy húmedos la capacidad evaporativa del aire se hace tan baja que la velocidad del aire presenta igualmente poca incidencia en el proceso evaporativo.

La velocidad del aire tiene consecuencias que van más allá del confort térmico y que vale mencionar (Ver tabla 7). Una corriente de aire se hace perceptible cuando sobrepasa los 0.25 m/s, por debajo de esas velocidades las personas no perciben

Rango de velocidad		Sensación
Menor a	0.25 m/seg.	Imperceptible
De	0.25 a 0.50 m/seg.	Agradable
De	0.50 a 1.00 m/seg.	Perceptible
De	1.00 a 1.50 m/seg.	Desagradable
Mayor a	1.50 m/seg.	Muy molesto

movimiento, cualquiera que sea el estado higrotérmico del aire. Por otro lado, dependiendo del uso del espacio, por encima de valores del orden de 1.5 m/s la sensación es incómoda, pues comienza a darse una molestia por posibles ráfagas.

La razón es que el enfriamiento producido por corrientes de aire es tanto más efectivo cuanto menor sea la temperatura del aire con respecto a la temperatura de la piel.

**Tabla 7.** Sensación térmica en función de la velocidad del viento.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de SZOKOLAY, Steven, "Environmental Science Handbook", Inglaterra, 1981.

**4.1.4 Temperatura radiante.** La temperatura de los objetos que rodean a un individuo, aún sin estar en contacto directo con ellos, afectan de manera importante la sensación térmica. Ello se debe a que absorben o emiten radiación electromagnética, la cual, al llegar a la piel, se convierte en calor, activando los mismos órganos sensitivos que actúan en los casos de la convección y la conducción.

Entre el usuario y las superficies del espacio habitable se lleva a cabo un intercambio de calor por radiación cuya dirección e intensidad del flujo dependerá del gradiente de temperaturas entre el usuario y las superficies del entorno y de cuál de estas temperaturas es más elevada.

## 4.2 Parámetros circunstanciales

**4.2.1 Calor metabólico.** La temperatura del cuerpo humano no depende exclusivamente de las condiciones del entorno ambiental, sino también del propio calor que constantemente genera el mismo cuerpo. Lo anterior se conoce como calor metabólico, el cuerpo humano es una máquina termodinámica de baja eficiencia, pues gran parte de la energía de que dispone por medio de los alimentos para realizar un trabajo se transforma en calor metabólico.

La tasa de metabolismo indica el nivel de actividad del sujeto y es importante que esté considerada dentro del modelo de la zona de confort y en general para entender el ambiente y el confort térmico, ya que ésta influye considerablemente en la percepción del ambiente y el estado térmico del sujeto.

La unidad utilizada para medir el metabolismo es el llamado met, el cual equivalente a 58 W/m<sup>2</sup>. La actividad que se toma como referencia para definir 1 met equivale al calor metabólico producido por una persona sentada, para lo cual se considera además que la persona tiene un área de piel de 1m<sup>2</sup>, en la tabla 8 se muestran ejemplos de valores met para distintas actividades.

Tipo de actividad	W m <sup>2</sup>	met
Durmiendo	40	0.7
Sentado en calma	60	1.0
Leer sentado	55	1.0
Escribir	60	1.0
Cocinando	95-115	1.6-2.0
Limpiando la casa	115-200	2.0-3.4
Trabajo mecánico ligero	115-140	2.0-3.4
Trabajo mecánico pesado	235	4.0
Bailando	140-255	2.4-4.4
Practicando baloncesto	290-440	5.0-7.6
Lucha competitiva	410-505	7.0-8.7

**Tabla 8.** Tabla de valores de metabolismo (met) para distintas actividades. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de CHÁVEZ, Francisco, "Zona variable de confort térmico", Tesis de Doctorado,

**4.2.2 El tiempo de permanencia.** La duración de permanencia en un sitio afecta a la percepción del ambiente térmico de dicho lugar, en el sentido de que el organismo expuesto a condiciones de calor o de frío tiene que realizar una labor para obtener un equilibrio térmico, ya sea para disipar más calor o evitar la pérdida de éste. Esto implica un desgaste físico que el cuerpo no puede mantener indefinidamente. Si la cantidad de calor perdida o ganada es inferior o superior a la que puede producir o disipar el cuerpo, la masa de éste incrementará o disminuirá su temperatura, lo que no se puede mantener indefinidamente. Por lo que, mientras más extremas sean las condiciones más rápido se llegará a este límite, llamado estrés térmico. Pero no solo las condiciones extremas causan el estrés térmico, también un tiempo de permanencia prolongado puede llevar a situaciones semejantes.

**4.2.3 La vestimenta.** El intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente se produce por las diferencias de calor con el entorno, es aquí donde la vestimenta desempeña un importante papel como factor de modificación. Existen tres procesos de intercambio que actúan simultáneamente: entre la ropa y el exterior, entre el cuerpo y la ropa y entre las partes descubiertas y el exterior; por ello, para un hombre desnudo la estimación del balance es más simple, ya que solo intervienen la temperatura de la superficie del cuerpo, la temperatura y velocidad del aire y la temperatura radiante de las superficies que rodean al individuo.

La influencia de la ropa en la sensación térmica se la clasifica en función de su grado de aislamiento térmico. Las unidades normalmente usadas para medir el aislamiento térmico son  $m^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ , pero en el caso de la ropa se prefiere por una unidad llamada clo. Un clo equivale a un aislamiento térmico de  $0.155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$ . La escala de clo se basa en que una persona desnuda tiene  $\text{clo}=0$  y un hombre vestido con un traje de negocios tiene  $\text{clo}=1$ . Para averiguar cuántos clo corresponden a un atuendo conformado por varias piezas individuales simplemente se suma el valor de clo de cada una (Ver tabla 9).

Vestimenta	Clo	$m^2\text{ } ^\circ\text{C/W}$
Ropa interior-braga	0.03	0.005
Camisa manga corta	0.09	0.029
Blusa manga larga	0.25	0.039
Bermuda	0.11	0.017
Pantalón	0.25	0.039
Falda ligera	0.10	0.016
Vestido ligero	0.25	0.039
Suéter delgado	0.2	0.031
Abrigo	0.6	0.093
Zapatos (suela delgada)	0.03	0.003
Botas	0.10	0.016

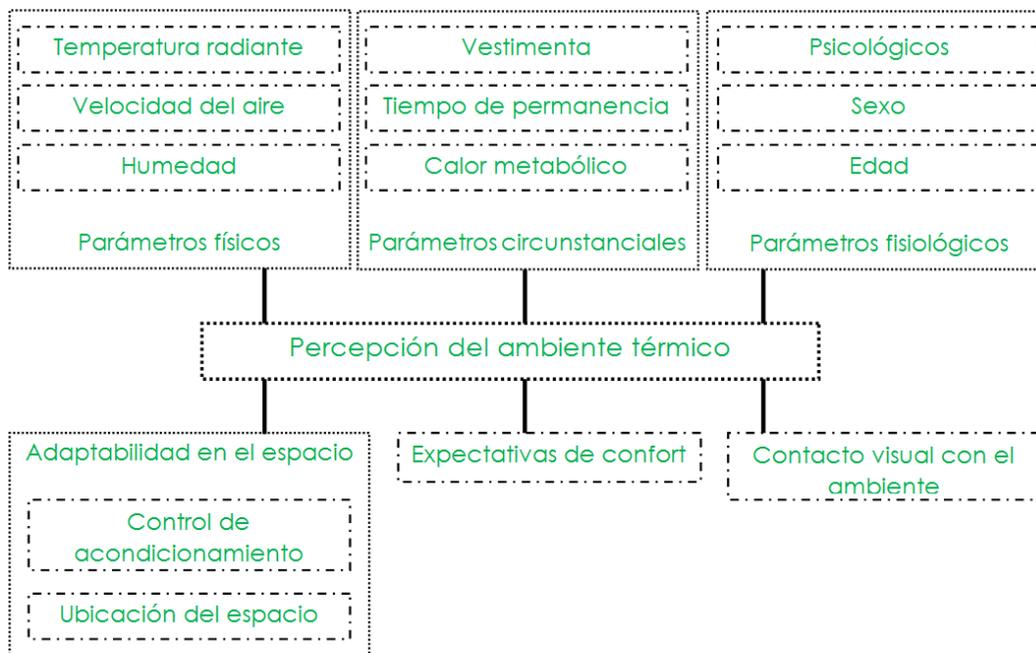
**Tabla 9.** Tabla de valores clo. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de CHÁVEZ, Francisco, "Zona variable de confort térmico", Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona 2002.

## 4.3 Parámetros fisiológicos y psicológicos\_\_\_\_\_

**4.3.1 La edad.** La edad tiene influencia en el estado térmico de los sujetos ya que conforme es mayor la edad se reduce el metabolismo de la persona, teniendo como una de sus consecuencias la reducción en la producción de calor, lo que se compensa en parte con la reducción en la sudoración, es decir en la capacidad de perder calor por medio de la evaporación.

**4.3.2 Sexo.** Varios autores plantean que las mujeres tienen menor capacidad para poder adaptarse al ambiente térmico de un sitio, esto debido a que tienen una menor capacidad cardiovascular, por tener menor cantidad de vasos sanguíneos cerca de la superficie de la piel generan una reacción más lenta a los cambios de temperatura, además la temperatura registrada de su piel, la capacidad evaporativa y su metabolismo son ligeramente menores a los que registra el hombre. Por lo general, se considera que la temperatura preferida por mujeres es de medio grado centígrado superior a la preferida por hombres (CHÁVEZ 2002).

**4.3.3 Psicológicos.** Estudios recientes muestran que existe relación entre las expectativas psicológicas ante determinado ambiente térmico o el clima en que se vive y la sensación de confort térmico. Por ejemplo, se ha constatado que los requerimientos son más estrechos en ambientes con temperaturas controladas. Se sabe que los habitantes de climas cálidos se sienten confortables bajo condiciones que resultarían muy calurosas para habitantes de climas fríos. Por lo tanto siempre se habla de que existe una adaptación térmica de las personas de acuerdo al clima donde radican, es decir una adaptación de la percepción de la información sensorial percibida, la cual puede ser significativamente atenuada por las experiencias personales y las expectativas con relación a determinado clima, llevando a una disminución de la intensidad con que se le percibe. Por otro lado, también puede asumirse la existencia de un proceso fisiológico consistente en una adaptación genética de los grupos humanos al clima en que se desenvuelven. Sin embargo, estudios de laboratorio en cámaras climáticas han revelado que individuos originarios de países con climas muy disímiles pero viviendo en una misma zona geográfica muestran prácticamente la misma apreciación de confort. Lo que en realidad pareciera darse es efectivamente una adaptación de los mecanismos sensoriales y termorreguladores del cuerpo (dicha adaptación toma un tiempo corto), como respuesta a determinadas condiciones térmicas (ROSALES s.f.).



**Diagrama 4.** Parámetros que intervienen en la percepción del ambiente térmico.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Teniendo en cuenta los parámetros que intervienen en el confort térmico, podemos realizar de una mejor decisión de las consideraciones térmicas que influyen en el diseño de los espacios interiores y así generar condiciones térmicas apropiadas para los usuarios que habiten dichos espacios. Recordemos que datos de los parámetros intervienen en la metodología de cálculo térmico, como los registros de temperatura, humedad y velocidad del aire, valores de clo y met, sexo, especificaciones de control ambiental, entre otras; por lo que su estudio y entendimiento es esencial para lograr un buen diseño térmico en los espacios habitables.

## 4.4 Índices de Confort Térmico

La sensación térmica se valora en la práctica a través de los llamados índices de confort. Éstos surgieron de la necesidad de estimar los efectos combinados de los parámetros que intervienen en los intercambios entre el cuerpo humano y el ambiente sobre las respuestas fisiológicas y sensoriales de las personas, a fin de expresar cualquier combinación a través de un valor único.

Los índices de confort constituyen los requerimientos térmicos. El arquitecto debe diseñar para que los espacios cumplan con valores admisibles de estos índices. Hasta la fecha se han planteado decenas de ellos, se clasifican principalmente en dos tipos:

- Modelos Estáticos. Donde el individuo es un receptor pasivo del estímulo térmico, cuyo efecto depende únicamente de procesos físicos entre él y su entorno y de mecanismos fisiológicos que se activan en respuesta.
- Modelos de Adaptación. Incluyen varios factores como los demográficos (sexo, edad, estatus económico), de contexto (uso de la edificación, clima) y cognitivos (actitudes, reacciones, preferencias, expectativas).

### 4.4.1 Modelos de adaptación.

En los modelos de adaptación, al considerar que el confort está influenciado por procesos conscientes e inconscientes de adaptación que activan las personas a objeto de acomodarse a determinadas condiciones térmicas, se plantean índices menos restrictivos y más amplios, lo que aumenta el grado de libertad del diseñador de edificaciones.

El índice de adaptación utilizado en esta investigación es el llamado índice de temperatura neutral formulado por los investigadores Auliciems y De Dear a mediados de los años 80's, el cual se define como el promedio de los valores de la temperatura del aire u operativa (si el ambiente no es uniforme), para los cuales las personas manifiestan no sentir ni frío ni calor, la ecuación es:

- ✓  $T_n = (17.6 + 0.31 T_{em})$
- ✓  $Z_n = T_n \pm 2.5^\circ\text{C}$

Donde:

$T_n$  = Temperatura Neutra,

$T_{em}$  = Temperatura media mensual

$Z_n$  = Zona de confort

La temperatura neutra representa un punto en la escala térmica, por ello es más conveniente hablar de un rango de temperatura en el cual el individuo expresa satisfacción térmica con el ambiente (Zona de confort).

## Capítulo 5. ESTUDIO DE CUBIERTAS NATURADAS .....

En los últimos años ha crecido el interés de conocer el comportamiento de los sistemas de naturación en las edificaciones, principalmente los utilizados en las cubiertas, esta inquietud ha provocado diversos estudios científicos que enriquecen el conocimiento del sistema operativo y de desempeño de dichos sistemas, a tal grado que se han mejorado los materiales y procesos constructivos, así como también la calidad y eficiencia, perfeccionando y aumentando sus beneficios.

### 5.1 Guías, manuales y normas \_\_\_\_\_

Actualmente existen documentos que establecen lineamientos y criterios para la creación de cubiertas verdes en distintos países alrededor del mundo, los cuales brindan orientación para un buen establecimiento de estos sistemas de naturación en las edificaciones.

Alemania como país pionero en el uso de cubiertas verdes es quien ha gestionado las primeras políticas ambientales del uso de naturación en las cubiertas, entre dichos documentos destacan los publicados por la *Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.* (FLL). Son las "*Guidelines for the Planning, construction and maintenance of green roofing, 2008*", que muestra las pautas o criterios más conocidos para cubiertas verdes en Alemania.

ASTM International, anteriormente conocida como American Society for Testing and Materials, mediante su grupo de trabajo E 06.71, ha desarrollado normas internacionales con criterios para cubiertas verdes, entre ellas destacan:

- E2396-05 Standard Test Method for Saturated Water Permeability of Granular Drainage Media (Falling-Head Method) for Green Roof Systems
- ASTM E2397 - 05 Standard Practice for Determination of Dead Loads and Live Loads associated with Green Roof Systems
- ASTM E2398 - 05 Standard Test Method for Water Capture and Media Retention of Geocomposite Drain Layers for Green Roof Systems
- ASTM E2399 - 05 Standard Test Method for Maximum Media Density for Dead Load Analysis of Green Roof Systems
- ASTM E2400 - 06 Standard Guide for Selection, Installation, and Maintenance of Plants for Green Roof Systems

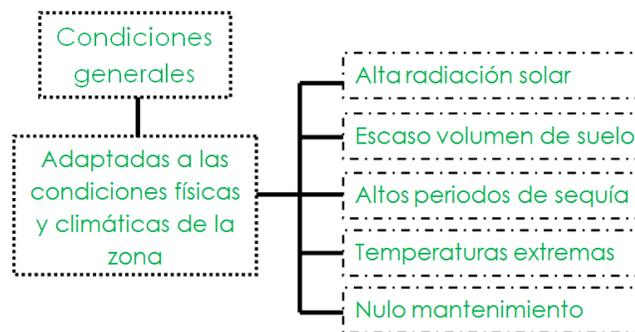
Distintas compañías de la industria de la construcción, dedicadas tanto a la producción de materiales usados en los sistemas de naturación (sistemas de impermeabilización, geosintéticos, sustratos, vegetación, sistemas de riego, etc.), como también compañías de seguros y manejo de riesgos, ejemplo de estas compañías Factory Mutual Global (FM

Global, quien publicó “Property Loss Prevention Data Sheets 1-35: Green Roof”), han publicado documentos donde establecen pautas y criterios para las cubiertas verdes.

También existen manuales donde sus objetivos son puramente de divulgación con fines educativos, como el publicado por la *National Roofing Contractors Association* “The NRCA Green Roof Systems Manual”, en Estados Unidos.

La Ciudad de México es la primera en Latinoamérica en contar con un documento guía en relación al tema de naturación en las edificaciones, por medio de la publicación de la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las Especificaciones Técnicas para la Instalación de Sistemas de Naturación en el Distrito Federal. Esta Norma fue dada a conocer el 24 de diciembre de 2008 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal. A continuación se muestran los diagramas del número 5 al 9, que exponen las recomendaciones dadas por ésta norma ambiental.

Hagamos énfasis que la creación y publicación de todo tipo de normas, guías y reglamentos, generan beneficios de diferentes tipos, entre ellos los económicos mediante la normación de los procesos que conlleva el desarrollo de los proyectos de naturación y en los recursos tanto económicos, materiales y humanos que intervienen. Beneficios políticos dado que regulan su establecimiento de acuerdo a las políticas de desarrollo urbano y social presentes en cada región. Y beneficios sociales al crear estándares que aumentan la efectividad del sistema, reflejados en los efectos y externalidades positivas en la población. Todo este conjunto de beneficios generan el uso y establecimiento de estas normatividades y guías, logrando mayor factibilidad en la creación y uso de esta tecnología.



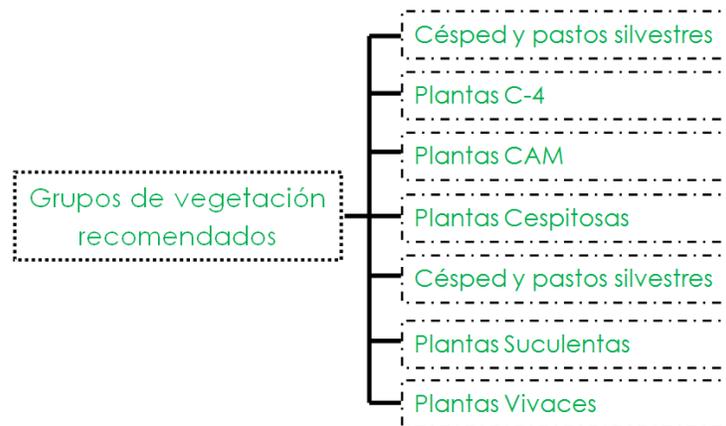
**Diagrama 5** . Consideraciones generales que debe cumplir la vegetación según la Norma NADF-013-RNAT-2007. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de la “Norma Ambiental para el Distrito Federal Proy-Nadf-013-Rnat-2007”, Gaceta Oficial del Distrito Federal, No. 491, 24 de diciembre, México, 2008.



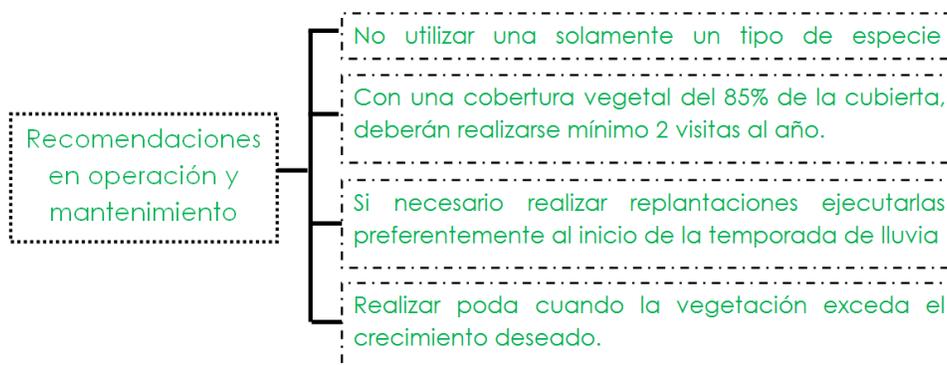
**Diagrama 6** . Requerimientos generales que debe cumplir la vegetación según la Norma NADF-013-RNAT-2007. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de la “Norma Ambiental para el Distrito Federal Proy-Nadf-013-Rnat-2007”, Gaceta Oficial del Distrito Federal, No. 491, 24 de diciembre, México, 2008.



**Diagrama 7** . Características que según la Norma NADF-013-RNAT-2007 debe cumplir la vegetación a plantar en los sistemas de naturación. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de la "Norma Ambiental para el Distrito Federal Proy-Nadf-013-Rnat-2007", Gaceta Oficial del Distrito Federal, No. 491, 24 de diciembre, México, 2008.



**Diagrama 8** . Grupos de vegetación que la Norma NADF-013-RNAT-2007 da a conocer como plantas que suelen adaptarse adecuadamente a los sistemas de naturación. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de la "Norma Ambiental para el Distrito Federal Proy-Nadf-013-Rnat-2007", Gaceta Oficial del Distrito Federal, No. 491, 24 de diciembre, México, 2008.



**Diagrama 9** . Recomendaciones de la Norma NADF-013-RNAT-2007 en operación y mantenimiento de los sistemas de naturación. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011, elaborada con datos de la "Norma Ambiental para el Distrito Federal Proy-Nadf-013-Rnat-2007", Gaceta Oficial del Distrito Federal, No. 491, 24 de diciembre, México, 2008.

## 5.2 Modelos de estudio de cubiertas naturadas\_\_\_\_\_

El estudio del comportamiento de las cubiertas verdes es un tema que se ha investigado desde hace varios años por medio de varios modelos, tanto matemáticos, como de simulación y experimentales. A continuación se mencionan algunas de estas investigaciones y sus principales conclusiones<sup>3</sup>, de las cuales se desprenden las características a considerar de la vegetación en los sistemas de naturación.

1. "Analysis of the green roofs cooling potential in buildings" (Análisis del potencial de enfriamiento en edificios por medio de techos verdes).

Modelo Matemático-Experimental a cargo de Elena Palomo del Barrio, en *Groupe Informatique et Systemes Energetiques, Ecole Nationale des Ponts et Chaussees*, Francia 1998. Muestra el comportamiento dinámico real de la cubierta verde y el análisis potencial como dispositivo de enfriamiento en verano. Las principales conclusiones a las que llegó esta investigación son:

- Las cubiertas verdes actúan como elementos de aislamiento térmico en verano, dado que se reduce el flujo de calor en la cubierta.
- Se analizó que existen características de la vegetación que actúan de manera positiva en el comportamiento térmico de la cubierta: el índice de área foliar (LAI), las características geométricas del follaje y el estudio del dosel.
- Las características del sustrato que intervienen en comportamiento térmico de la cubierta son: densidad, espesor y contenido de humedad.

2. "Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance"(Análisis de las propiedades térmicas e investigación del funcionamiento de la energía en techos verdes).

Modelo Matemático de Simulación y Experimental, por A. Niachou, K. Papakonstantinou, M. Satamouris, A. Tsangrassoulis, G. Mihalakakou, en Loutraki, Grecia 2001. Esta investigación analizó las propiedades térmicas y el rendimiento energético de las cubiertas verdes. Llegó a la las siguientes conclusiones:

- Las características de la vegetación influye sobre la temperatura de la superficie de la cubierta verde, el principal factor de enfriamiento pasivo es la protección de la radiación solar que brinda la vegetación.
- Las temperaturas más bajas en una cubierta verde fueron registradas en cubiertas con vegetación densa de color verde oscuro.
- Las temperaturas más altas se localizaron en cubiertas con vegetación esparcida de color rojo.
- Se mejoraron las condiciones de confort en el interior en 2°C.

---

<sup>3</sup> Se tomó como referencia el artículo ABC-24 "Esbozo comparativo de modelos para el diseño térmico de cubiertas vegetales", de ORTEGA, MORALES y CARBAJAL, ANES 2008, para realizar el análisis de los modelos mostrados en el presente capítulo.

- Se consiguió un ahorro energético con cubiertas verdes sin aislamiento del 37%, aumentando a un 48% al implementar ventilación nocturna.
- 3. “*Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique*” (Análisis del funcionamiento de un techo verde en verano como una técnica de enfriamiento pasiva).

Modelo Matemático de Simulación y Experimental, por Theodore G. Theodosiou, en la Universidad de Aristóteles de Thessaloniki, Grecia 2003. Muestra un modelo de simulación de energía aplicado a techos verdes con el fin de evaluar las características que la afectan. Se presenta una versión modificada del modelo analítico de Elena Palomo, acoplándole un modelo de simulación energética para edificios SUNCODE P.C.

- El modelo propuesto ha sido probado con un grado aceptable de precisión, que puede hacer incursionar a los techos verdes en los programas de simulación de energía de los edificios.
  - El parámetro más importante, considerado en la vegetación, fue la densidad del follaje, representado en el modelo como el índice del área foliar (LAI), que influye en la transpiración y en el sombreado.
  - La altura del follaje en combinación con la densidad de la capa vegetal dan mejores resultados en el comportamiento de enfriamiento térmico.
  - El tipo de cubierta verde utilizada altera todos los parámetros analizados, siendo las cubiertas intensivas las que contribuyen de mejor forma a la extracción del calor, incluso bajo un ambiente con niveles altos de temperaturas.
  - Un ambiente seco hace resaltar la evapotranspiración y las capacidades de enfriamiento. La velocidad del aire tiene el mismo efecto, hasta ahora no tan fuerte como la humedad relativa. Valores altos en la velocidad del viento aunados a valores bajos en la humedad ofrecían una mejora en retirar el vapor del follaje y conducía a un incremento en la evapotranspiración.
4. “*Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate*” (Estudio térmico de una azotea verde extensiva en el clima tropical).

Modelo Experimental, por Wong Nyuk Hien, Tan Puay Yok, Chen Yu, en la Universidad Nacional de Singapur, Singapur 2005. La investigación analizó cuatro diferentes sistemas de cubiertas verdes extensivas bajo condiciones de clima tropical, para evaluar las diferencias significativas en el funcionamiento térmico. Entre sus conclusiones están:

- La cubierta verde tiende a experimentar una temperatura superficial más baja que una cubierta expuesta, especialmente en las áreas bien cubiertas por la vegetación.
- Las plantas usadas en la azotea verde tienen un impacto en el rendimiento de la cubierta.
- La mayoría de los sustratos son de color oscuro, con la tendencia a absorber más calor durante las horas del día.

- La transferencia de calor a través de la losa es menor durante las horas del día debido a que el sistema extensivo puede disminuir la fluctuación de temperatura en ella; aumentando durante la noche.
  - Es importante aprovechar las corrientes de viento para evitar la acumulación de humedad en el follaje y mejorar la transpiración de las plantas.
  - El flujo de calor a través de la estructura de la cubierta fue reducido cerca del 60%.
  - Las plantas utilizadas de la familia *Crassulaceae* utilizan el ácido metabólico (CAM) a modo de fotosíntesis, cierran total o parcialmente sus estomas a fin de mantener altas tasas de fotosíntesis durante el día. En consecuencia, se espera que muchas de las plantas no transpiren durante el día, por lo cual el enfriamiento por transpiración de las plantas sería mínimo durante el día y mayor durante la noche.
  - La cobertura de la vegetación puede mejorar el funcionamiento térmico cuando se utiliza vegetación de tipo extensiva y cuando la cobertura es abundante.
5. "Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales: Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales".

Modelo Experimental, por Francisco Vecchia, Gabriel Castañeda, Jaime Andrés Quiroa, Venezuela 2006. Dentro de esta investigación se realiza mediciones experimentales comparativas entre dos tipos de cubiertas, una de concreto armado aparente y otra igual sólo que implementando cubierta verde, para la obtención del retraso y el amortiguamiento térmico en edificaciones de un nivel. Entre sus conclusiones están:

- La cubierta verde actúa como elemento de retraso y amortiguamiento térmico, sobre todo en las edificaciones de un solo nivel.
  - La superficie inferior de la cubierta verde actúa como elemento absorbente de calor del aire interior por ser menor su temperatura.
6. "Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops" (Evaluación del efecto de reducción térmica de la capa vegetal en cubiertas verdes).

Modelo Experimental, por Chih-Fang Fang, en Taiwán 2007. La investigación muestra el modelo experimental sobre distintas especies vegetales, donde se examina el efecto de la reducción térmica (TRR) de la capa vegetal sobre las cubiertas. Entre sus conclusiones están:

- Los parámetros más relevantes de la vegetación con respecto a la reducción térmica son: la cobertura promedio (CR) y el espesor total de la hoja (TLT).
- El efecto de reducción térmica de las distintas especies no son necesariamente similares.
- El área de sombreado incrementa con CR, reduciendo la transmisión de la radiación solar e incrementando el efecto de la reducción térmica.
- La reducción térmica incrementó lentamente con TLT, cuando CR fue entre 100-80%, lo que indica que el efecto de CR sobre la reducción térmica superó a TLT.
- Las plantas pueden reducir la energía térmica de la radiación solar de 70-90% cuando las medidas de TLT excedieron de 2.25mm.

- Cuando TLT aumenta, mejora la difusión de luz y TRR.
- Cuando CR fue de 20-50% y TLT fue mayor de 2.7mm, puede conseguirse de un 70-80% de TRR.

7. *"Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments"* (Influencia de la composición de la vegetación sobre la escorrentía en dos experimentos de simulación de cubierta verde).

Modelo Experimental, por Nigel Dunnett, Ayako Nagase, Rosemary Booth y Phillip Grime, en la Universidad de Sheffield, Reino Unido 2008. La investigación muestra el estudio de dos cubiertas verdes experimentales en relación a la influencia de las características de la vegetación en la escorrentía de agua pluvial. Entre sus conclusiones están:

- La composición de la vegetación afecta de manera significativa tanto la cantidad de agua retenida y liberada en los sistemas de cubierta verde.
- Las especies vegetales de pastos son los más eficaces para reducir el escurrimiento del agua, después herbáceas y por último los sedums.
- Una mayor complejidad y diversidad en la vegetación confiere mayor ventaja en términos de reducción de la escorrentía pluvial.

8. *"A green roof model for building energy simulation programs"* (Un modelo de cubierta verde para programas de simulación de energía en edificios).

Modelo de Simulación, por D.J. Sailor, en la Universidad Estatal de Portland, EUA 2008. Se muestra un modelo de simulación de cubierta verde integrado al programa EnergyPlus. Este modelo permite seleccionar varias opciones de diseño de la cubierta verde, incluyendo las propiedades térmicas de sustrato y características de la vegetación, tales como el tipo de planta, altura e índice de área foliar, y permite conocer el consumo energético, el cual varía significativamente en respuesta a las variaciones en estos parámetros. Una de las más importantes conclusiones es:

- Las características de la vegetación que son más importantes desde el punto de vista de los impactos sobre la transferencia de calor a través de la cubierta son la altura, el índice de área foliar (LAI), albedo, y resistencia estomática.

Todas las investigaciones realizadas hasta el momento muestran como resultado que las cubiertas verdes optimizan el desempeño térmico de las edificaciones, la selección de la vegetación es elemental para mejorar dicho comportamiento. Además enfatizan algunas de las características de las especies vegetales que deben ser tomadas en cuenta como elementos importantes en el comportamiento térmico en los sistemas de naturación de las cubiertas, entre ellas destacan:

- ✓ Dosel
- ✓ Características del follaje: altura, espesor total de la hoja, color.
- ✓ Índice de área foliar (LAI)
- ✓ Albedo (características ópticas)
- ✓ Resistencia estomática

Es importante decir que estas características de la vegetación que intervienen en el mejoramiento del desempeño térmico de la cubierta y al interior de las edificaciones son de índole general, aplicables en todas las regiones y climas del planeta; lo que ahora se debe hacer es realizar un diseño térmico y paisajístico que las incluya, que será particular en cada sitio de acción por medio de una adecuada selección vegetación que se verá reflejada en cada una de las especies presentes en la paleta vegetal del proyecto.

### 5.3 Características de la vegetación que mejoran el efecto térmico de la Naturación

Existen características en las especies vegetales que optimizan el desempeño térmico de los sistemas de naturación, éstas pueden definirse como características higrotérmicas, se les denomina así ya que incluyen tanto factores de temperatura como factores de humedad, los cuales intervienen en los flujos de energía que permiten calcular el balance energético de una cubierta naturada. Entre dichas características destacan:

- Características físicas de la vegetación
- Propiedades ópticas de la vegetación
- Propiedades higrotérmicas de la vegetación

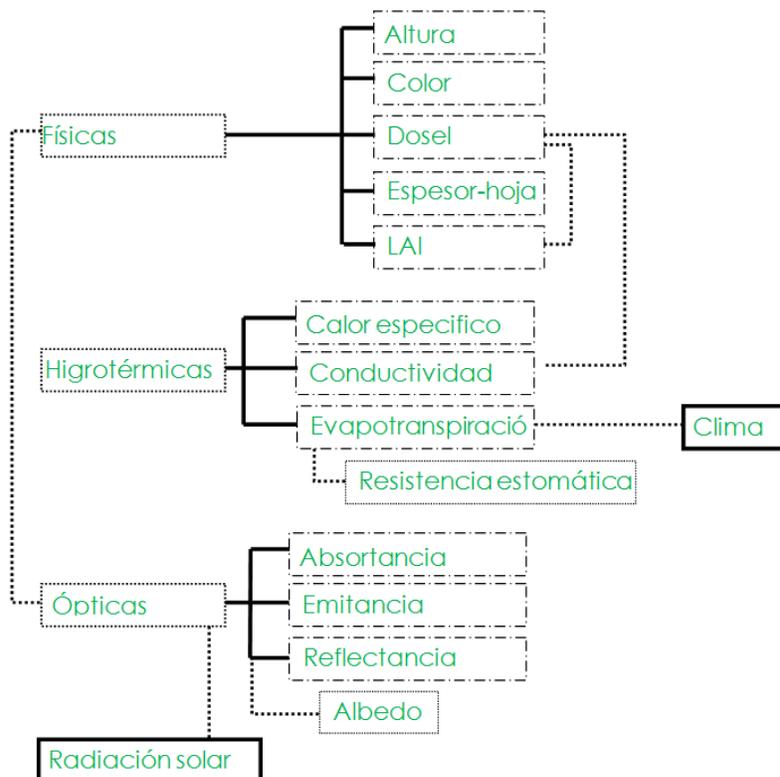


Diagrama 10 . Características de la vegetación que logran hacer más eficientes los sistemas de naturación térmicamente. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

## 5.4 Características físicas de la vegetación\_\_\_\_\_



▪ **Altura.** Dimensión de la vegetación considerada verticalmente desde su base del sustrato hasta su punto más elevado del follaje. Infiuye en cómo serán los flujos de viento y la proyección de las sombras.

▪ **Color.** Producto de las longitudes de onda que son reflejadas o absorbidas por la superficie de la vegetación. Dota a la especie de propiedades ópticas que pueden general mejores beneficios térmicos al sistema de naturación.

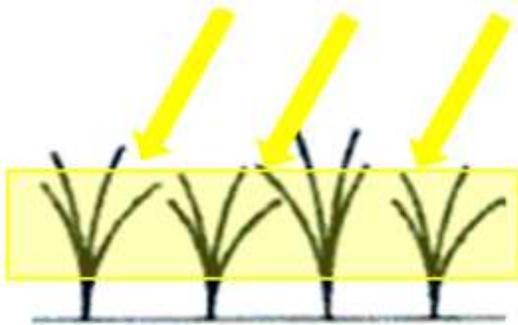
▪ **Dosel.** Capa aérea vegetal, formada por el follaje. De acuerdo a densidad serán modificados las pérdidas o ganancias de calor del sistema.

▪ **Espesor total de la hoja.** Dimensión del grosor de la hoja de cada especie. El grueso de la hoja permite saber cuánta agua reserva la especie vegetal, por lo que mientras más gruesa sea ésta podrá soportar periodos más largos de sequía.

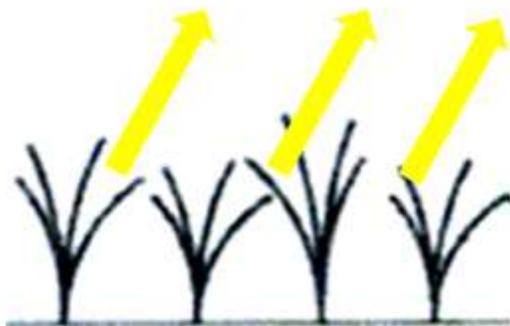
▪ **Índice de área foliar (LAI).** Área total de la superficie superior de las hojas por área de unidad de la cubierta que se encuentre directamente debajo de la planta. Infiuye en la cantidad de sombra que proyectará la capa de vegetación a la cubierta, lo que modifica térmicamente los flujos térmicos.

**Imagen 41.** Características físicas de la vegetación que logran hacer más eficientes los sistemas de naturación térmicamente. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

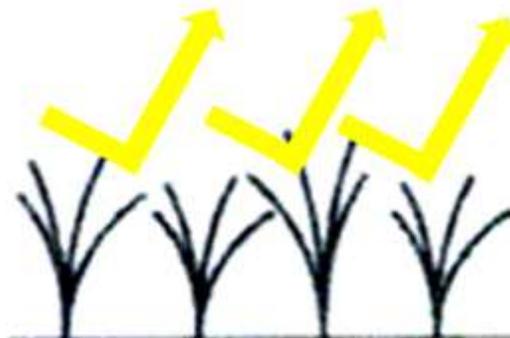
## 5.5 Propiedades ópticas de la vegetación\_\_\_\_\_



- **Absorptancia.** Coeficiente entre la energía solar absorbida y la energía solar incidente sobre una superficie.



- **Emitancia.** Es la característica que expresa la cantidad de energía electromagnética que un material puede emitir a una determinada temperatura y con determinada longitud de onda, comparada con la del cuerpo negro ideal en las mismas condiciones; por ello, tiene un valor entre cero y uno. Es igual a la unidad cuando emite igual que el cuerpo negro ideal.



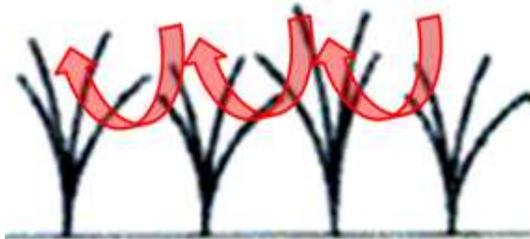
- **Reflectancia.** Coeficiente entre el rayo incidente y la radiación reflejada por éste en una superficie.



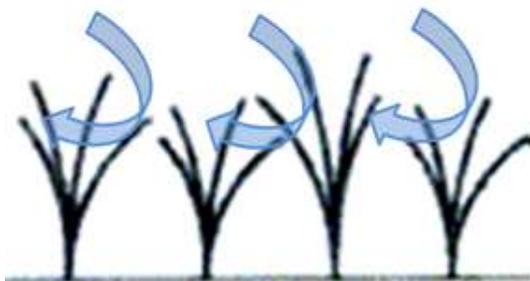
- **Albedo.** Relación expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja comparada con la radiación que incide sobre la misma.

Imagen 42. Propiedades ópticas de la vegetación que logran hacer más eficientes los sistemas de naturación térmicamente.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

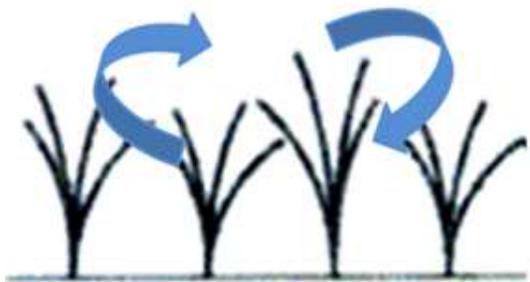
## 5.6 Propiedades higrotérmicas de la vegetación\_\_\_\_\_



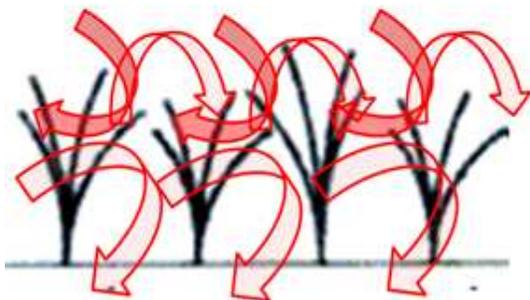
- **Calor específico.** Cantidad de calor que por unidad de masa necesita una sustancia para que su temperatura se eleve un grado centígrado.



- **Resistencia estomática.** Ritmo al cual cada especie vegetal puede transpirar humedad a través de su cuerpo, que está controlada por su metabolismo, por la disponibilidad de agua en el sustrato y por las condiciones ambientales dadas en un momento determinado (temperatura, radiación solar, humedad relativa, presión atmosférica y viento).



- **Evapotranspiración.** Es el proceso de pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Regula la temperatura de la superficie a través del balance de energía de ésta. Cuando existe un menor nivel de evapotranspiración existe una mayor energía disponible para liberar calor sensible en la capa vegetal. La cantidad de evapotranspiración depende de la resistencia estomática.



- **Conductividad térmica.** Propiedad física que mide la capacidad de conducción de calor en todo el sistema de naturación. Actualmente existen investigaciones que han propuesto metodologías tanto matemáticas (PALOMO 1998) (D.J. 2008) como experimentales (MACHADO, BRITTO y NEILA 2003) para su obtención, donde toman en cuenta los flujos de energía que intervienen en todo el sistema de naturación.

Imagen 43. Propiedades higrotérmicas de la vegetación que logran hacer más eficientes los sistemas de naturación térmicamente. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

## Capítulo 6. MODELO DE ESTUDIO .....

### 6.1 Área de estudio \_\_\_\_\_

La cubierta naturada que se analizó como modelo experimental se ubica en la zona sur de la Ciudad de México, en la Delegación Xochimilco. Ésta fue el área de estudio donde también se realizó el modelo matemático para poder contrastar y comparar los resultados obtenidos de los análisis de los dos modelos.

El estudio climático de la zona se realizó en base a los datos de temperatura y humedad relativa de las Normales Climatológicas publicados por el SMN Servicio Meteorológico Nacional, con un periodo de registro de datos climáticos del año 1971 al 2000. La estación seleccionada fue la más cercana al área de estudio, que es la reconocida con el número 00009034 en Muyuguarda, Xochimilco. Los datos de radiación solar horaria se obtuvieron mediante la aplicación del programa "SOLAR" de radiación y gráficas solares realizado por Balderas (1998) el cual utiliza el promedio mensual de radiación máxima (Fernández Sayas y Estradas-Cajigal 1983). Para los datos de humedad relativa horaria se emplearon los datos obtenidos del programa de temperatura y humedad creado por Tejeda (1998) el cual realiza la estimación horaria a partir de los valores de la temperatura máxima, media y mínima y humedad relativa media mensual, así como las coordenadas geográficas del lugar.

### 6.2 Descripción del sitio de estudio \_\_\_\_\_

Xochimilco es una de las 16 delegaciones del Distrito Federal, se encuentra ubicada al sureste del DF, colinda al Norte con las delegaciones Coyoacán, Tlalpan e Iztapalapa; al Oriente, con Tláhuac; al Poniente, con Tlalpan; y al Sureste con Milpa Alta (Ver Imagen 44). Tiene una superficie de 125.2 kilómetros cuadrados, que equivalen a un 8.4% del D.F.; lo que la ubican como la tercera delegación más grande en territorio de la ciudad de México.

La delegación presenta cuatro microclimas distintos. Tres de ellos pueden ser clasificados como climas templados subhúmedos (característico del valle de México), aunque pueden ser separados debido a sus niveles de pluviosidad. La zona más alta de la delegación posee un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano.



Imagen 44. Localización de la delegación Xochimilco en el Distrito Federal. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La edificación seleccionada para ser estudiada térmicamente se encuentra ubicada con las siguientes coordenadas geográficas (Ver imagen 45):

- Latitud: 19°16'30"N
- Longitud: 99° 09'15"O
- Altura: 2250 msnm

El área que se analizó se encuentra dentro de un conjunto habitacional, consta de un departamento en el piso superior del edificio.



**Imagen 45.** Vista aérea de la cubierta del departamento seleccionado como modelo experimental. Fuente: Google Earth (Versión 6.0.3.2197), 2010.

### 6.3 Zonas de confort térmico

Se calcularon las zonas de confort térmico mensuales para el área de estudio, por medio del índice de adaptación de temperatura neutral (Auliciems y De Dear), utilizando los datos de registro de temperatura media mensual del Servicio Meteorológico Nacional, de la estación número 0000903, de acuerdo a la ecuación:

$$T_n = (17.6 + 0.31 T_{em})$$

Donde:

$T_n$  = Temperatura Neutra

$T_{em}$  = Temperatura media mensual

Obteniendo la Temperatura neutral  $T_n$ , se calcularon la temperatura mínima y máxima de confort, para así tener la zona de confort térmico que tiene una amplitud de 5 °C al interior de la edificación para cada mes del año, los resultados se muestran en la Tabla 10.

$$Z_n = T_n \pm 2.5^\circ\text{C}$$

Donde:

$T_n$  = Temperatura Neutra

$Z_n$  = Zona de confort

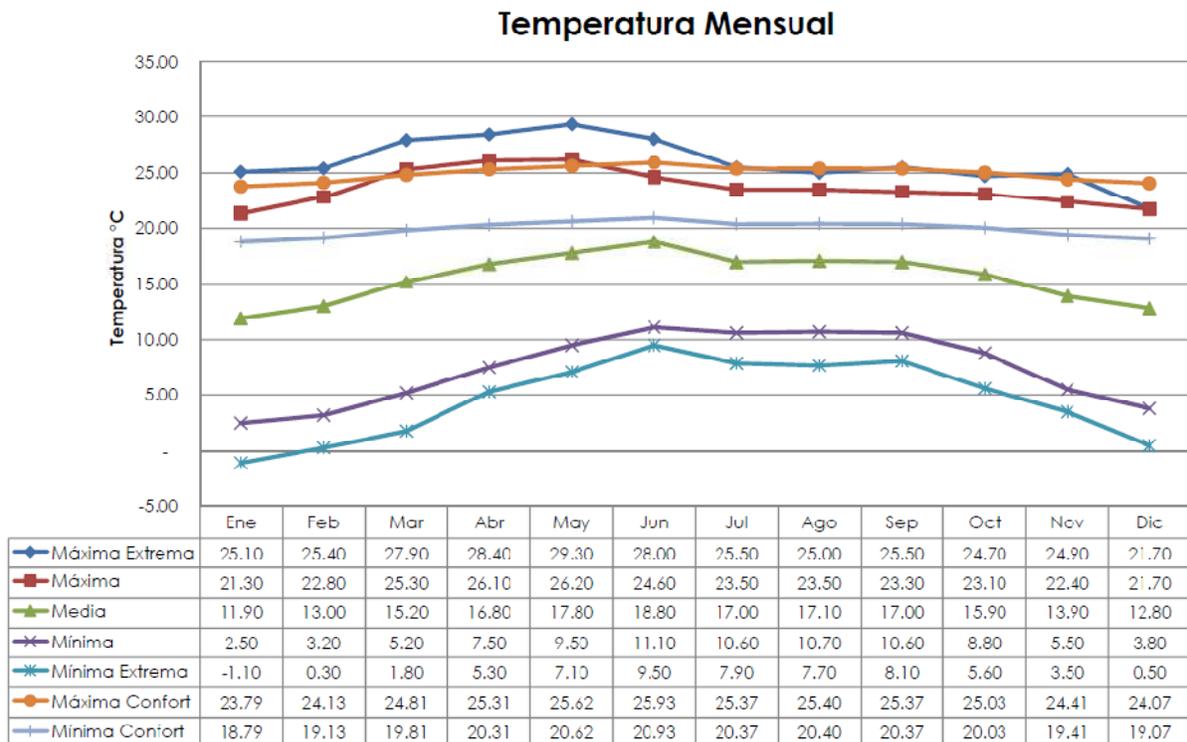
Temperatura		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Máxima Extrema	°C	25.10	25.40	27.90	28.40	29.30	28.00	25.50	25.00	25.50	24.70	24.90	21.70	29.30
Máxima	°C	21.30	22.80	25.30	26.10	26.20	24.60	23.50	23.50	23.30	23.10	22.40	21.70	23.65
Media	°C	11.90	13.00	15.20	16.80	17.80	18.80	17.00	17.10	17.00	15.90	13.90	12.80	15.60
Mínima	°C	2.50	3.20	5.20	7.50	9.50	11.10	10.60	10.70	10.60	8.80	5.50	3.80	7.42
Mínima Extrema	°C	- 1.10	0.30	1.80	5.30	7.10	9.50	7.90	7.70	8.10	5.60	3.50	0.50	- 1.10
Máxima Confort	°C	23.79	24.13	24.81	25.31	25.62	25.93	25.37	25.40	25.37	25.03	24.41	24.07	24.94
Mínima Confort	°C	18.79	19.13	19.81	20.31	20.62	20.93	20.37	20.40	20.37	20.03	19.41	19.07	19.94
Oscilación	°C	18.80	19.60	20.10	18.60	16.70	13.50	12.90	12.80	12.70	14.30	16.90	17.90	16.23

**Tabla 10 .** Temperaturas mensuales de los datos climatológicos, de confort y de oscilación en la zona de estudio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

## 6.4 Análisis climático

Se realizó el análisis climático de la zona de estudio para poder determinar los meses de diseño térmico, recopilar y analizar los datos que intervienen en el modelo matemático y evaluar los rangos de confort térmico al interior de la edificación. A partir de la selección, análisis y procesamientos de los datos climáticos de la zona de estudio se realizaron las siguientes gráficas como elementos gráficos para una mejor y más rápida comprensión de los elementos del clima:

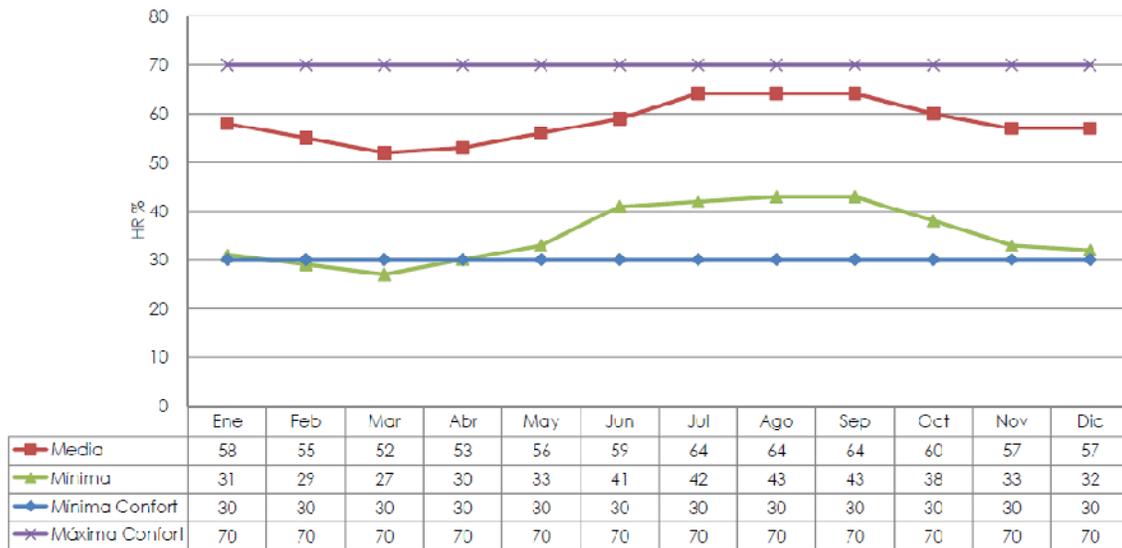
- ✓ Temperatura mensual.
- ✓ Humedad relativa mensual
- ✓ Climograma mensual



Gráfica 4 . Temperaturas mensuales. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

En la gráfica 4 de Temperatura mensual se registran además de los datos de las temperaturas máximas extremas, máximas, medias, mínimas y mínimas extremas, la zona de confort térmico para cada mes calculado por medio del índice de adaptación de temperatura neutral (Auliciems y De Dear).

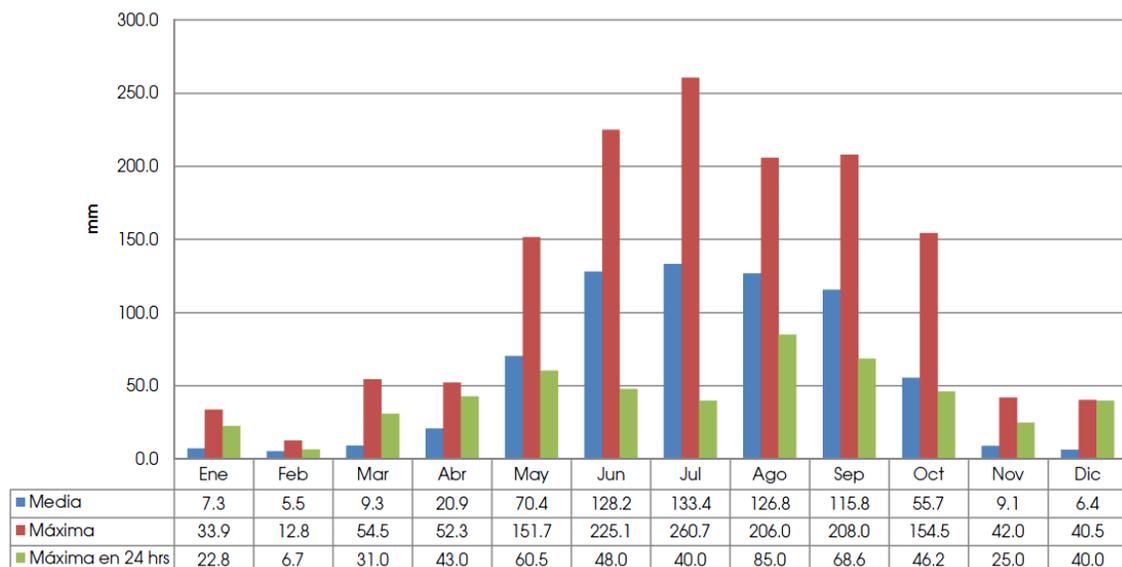
### Húmedad Relativa Mensual



Gráfica 5 . Humedad relativa mensual. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

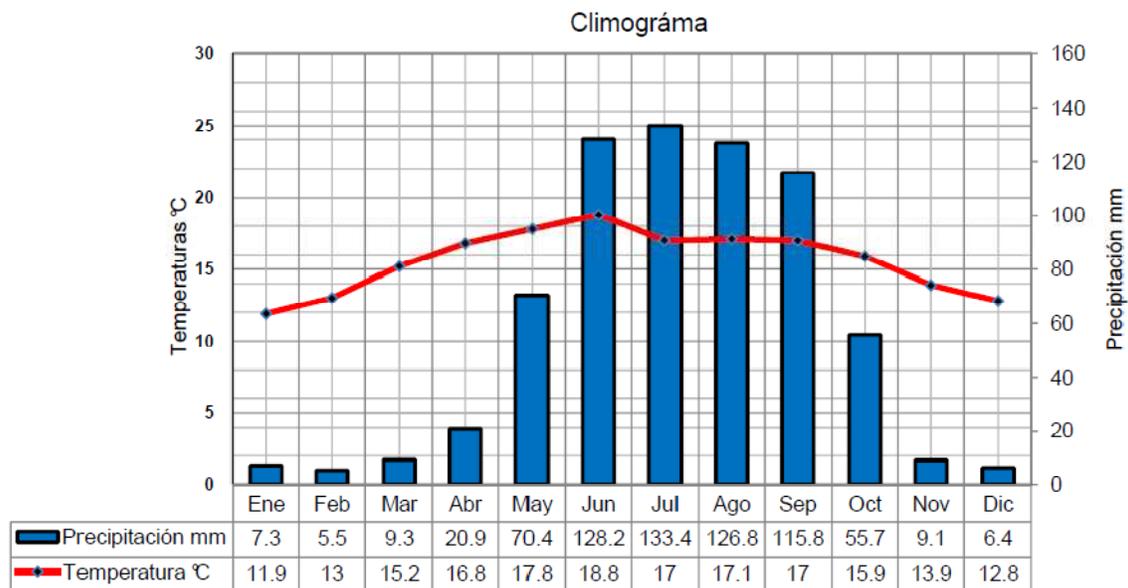
En relación al registro de humedad relativa en la gráfica 5 se observa que se encuentra dentro de los rangos de confort ambiental, por lo cual no existe necesidad de realizar alguna estrategia de diseño que mejore la sensación de humedad ambiental.

### Precipitación Mensual



Gráfica 6 . Precipitación mensual. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

Como muestra la gráfica 6 en mes que cuenta con mayor precipitación pluvial es julio y en el que se registra una menor cantidad es en febrero.

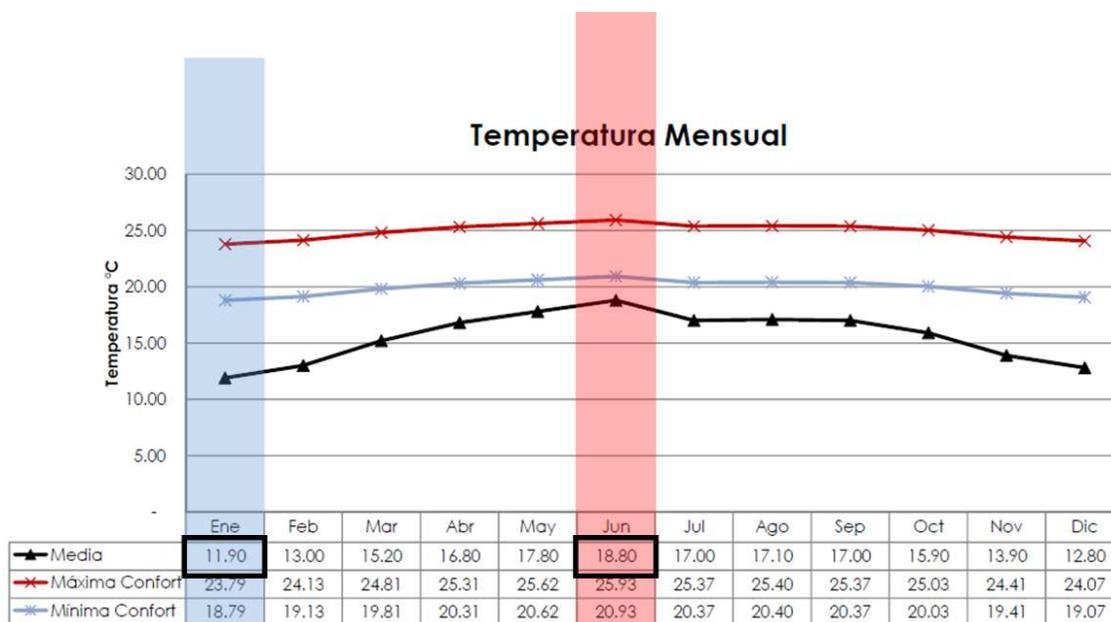


Gráfica 7 . Climograma. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

Para una mejor comprensión de la relación de temperatura con precipitación se generó un climograma (Ver gráfica 7).

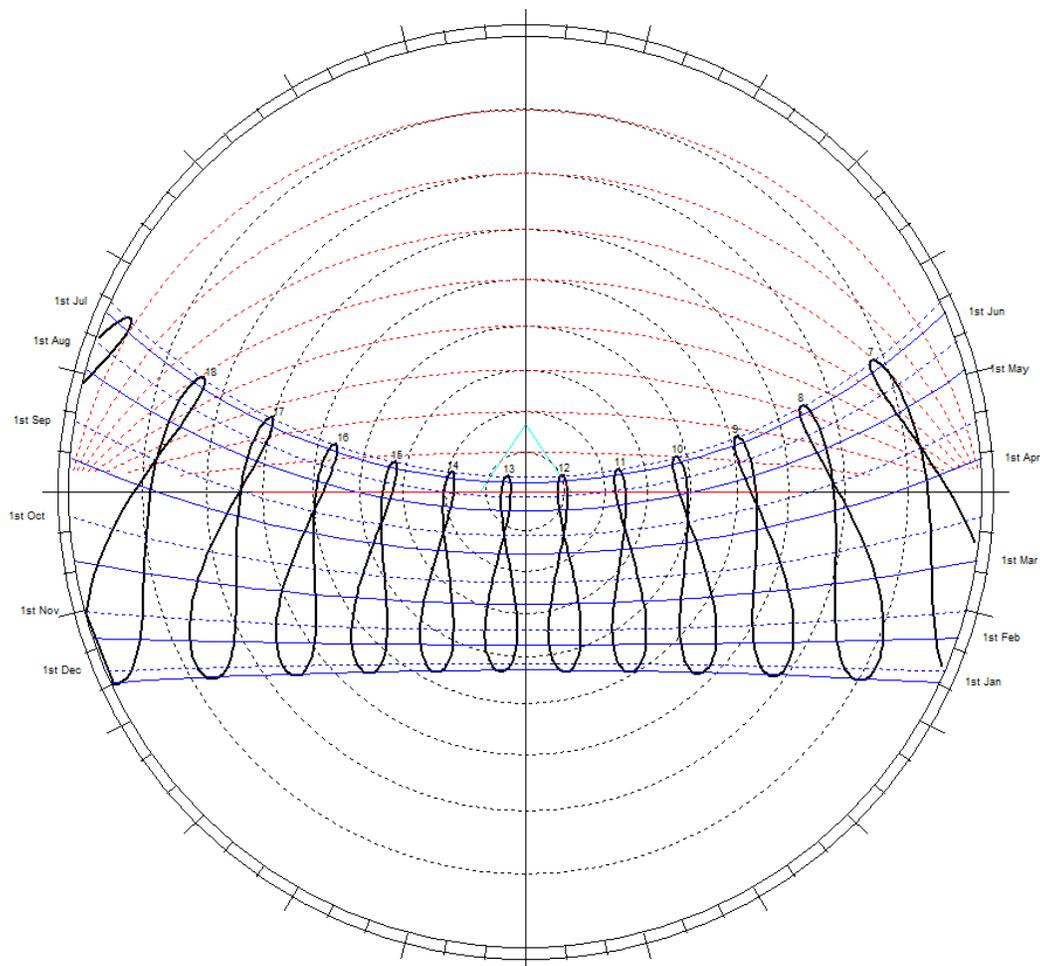
Dados los resultados de los registros climáticos y de acuerdo al estudio climático se seleccionaron dos meses de diseño para realizar el análisis térmico de acuerdo a sus condiciones climáticas:

- ✓ Enero: El mes más frío.
- ✓ Junio: El mes más cálido.



Gráfica 8 . Selección de los dos meses de diseño. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

## 6.5 Análisis solar

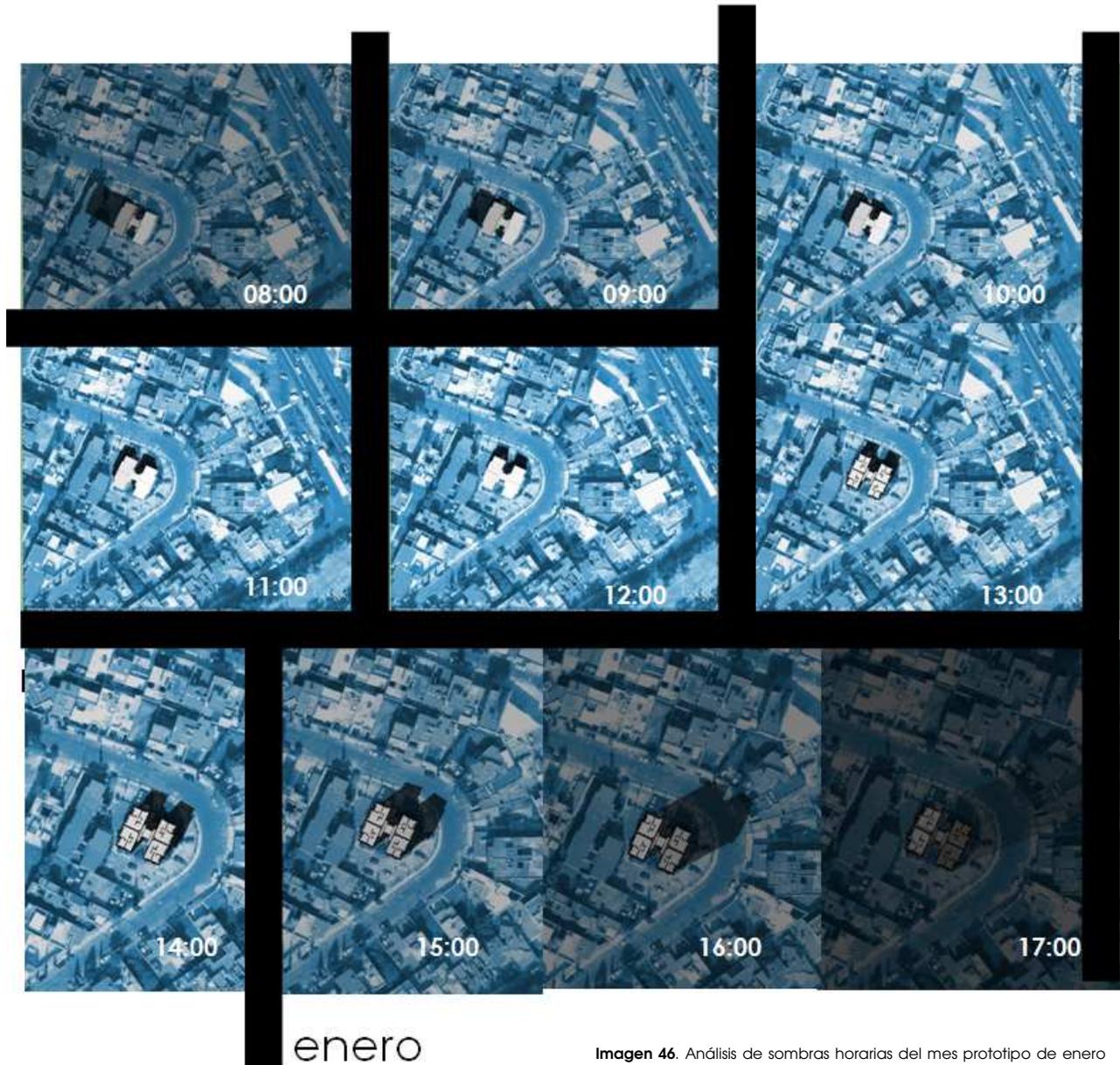


Gráfica 9 . Gráfica solar. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica solar es una herramienta que permite conocer el movimiento aparente del sol durante cualquier fecha del año. En la imagen se muestra cómo es el recorrido del sol en la zona de estudio.

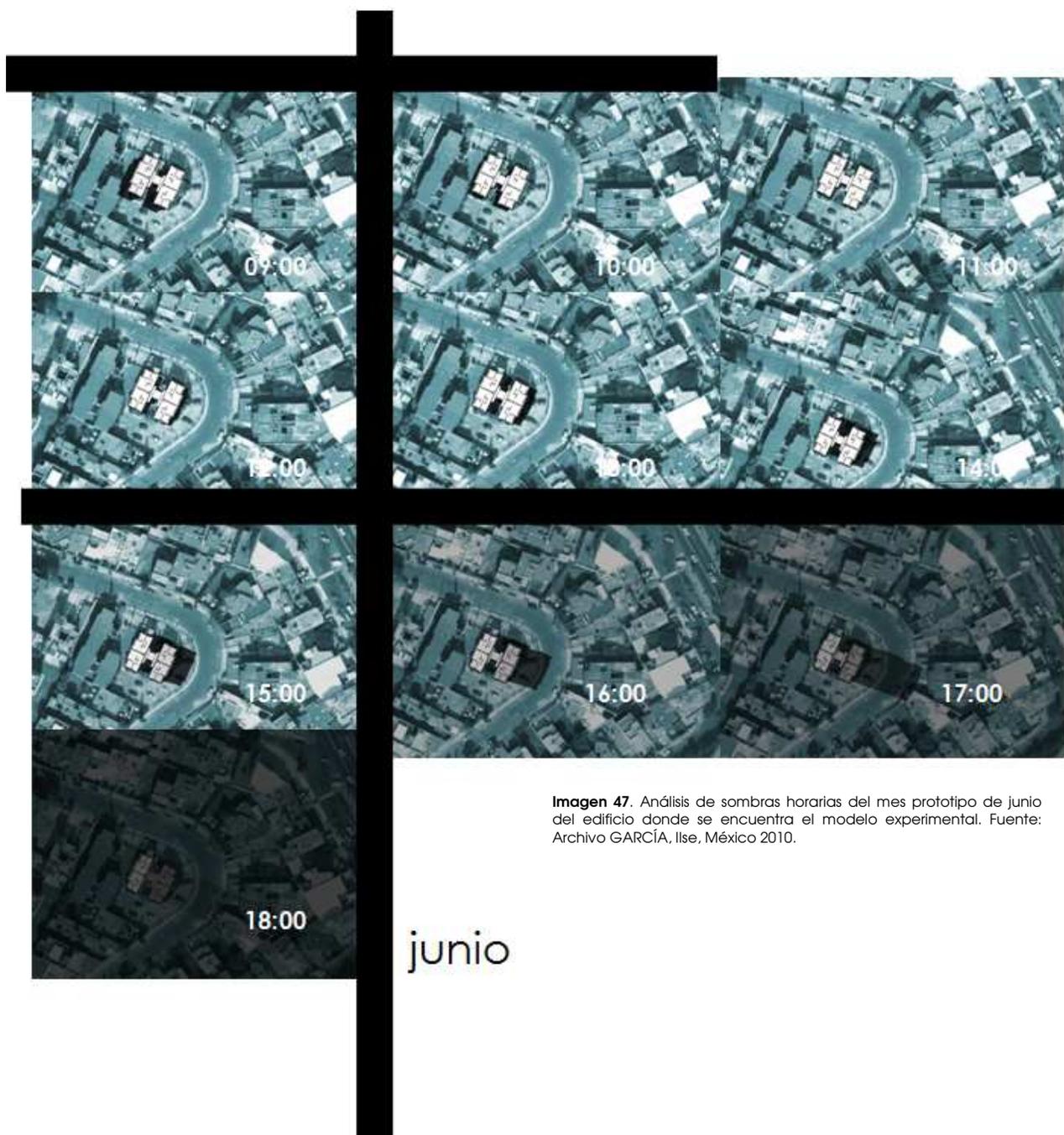
## 6.6 Análisis de sombras

Para poder realizar el cálculo térmico es necesario conocer cómo se comportan las ganancias de calor por medio de la radiación solar sobre los materiales que conforman todas sus fachadas, para ello es necesario saber cuándo recibe radiación solar directa cada elemento.



**Imagen 46.** Análisis de sombras horarias del mes prototipo de enero del edificio donde se encuentra el modelo experimental. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

Las imágenes muestran la proyección de sombras del edificio en las distintas horas del día, es a partir de las 8:00 h y hasta las 17:00 h, cuando es significativa la presencia de radiación solar incidente sobre las fachadas de edificio, para efectos del cálculo térmico en el mes de enero.

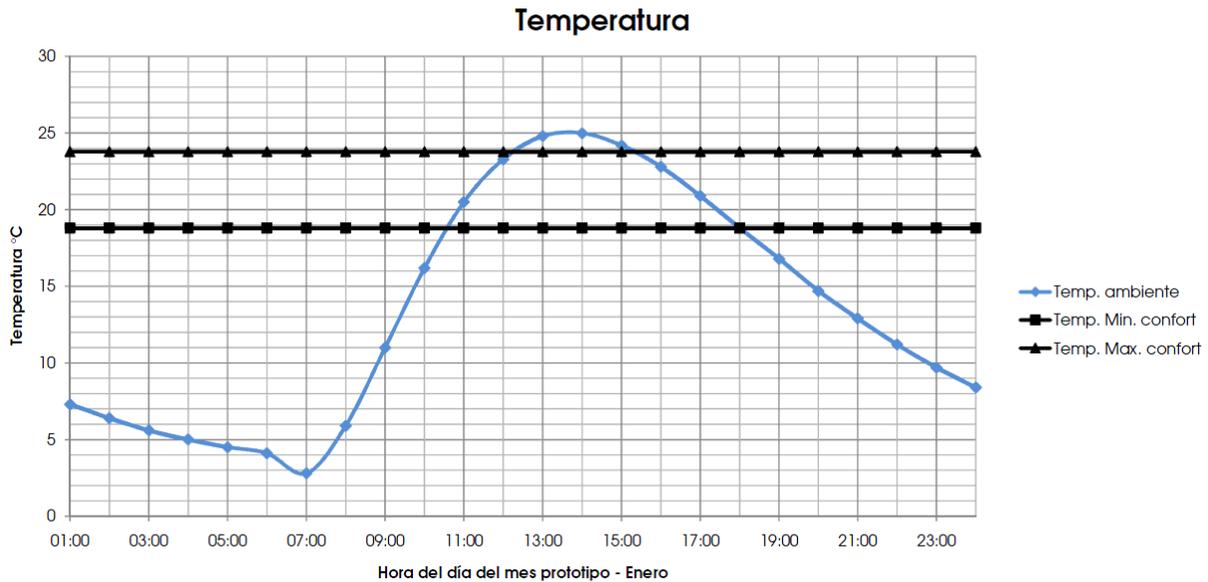


**Imagen 47.** Análisis de sombras horarias del mes prototipo de junio del edificio donde se encuentra el modelo experimental. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

En el mes de junio se muestran las imágenes de sombras a partir de las 9:00 h hasta las 18:00 h, las cuales revelan la incidencia solar en las fachadas que influye en el cálculo térmico por ganancias de calor por radiación solar.

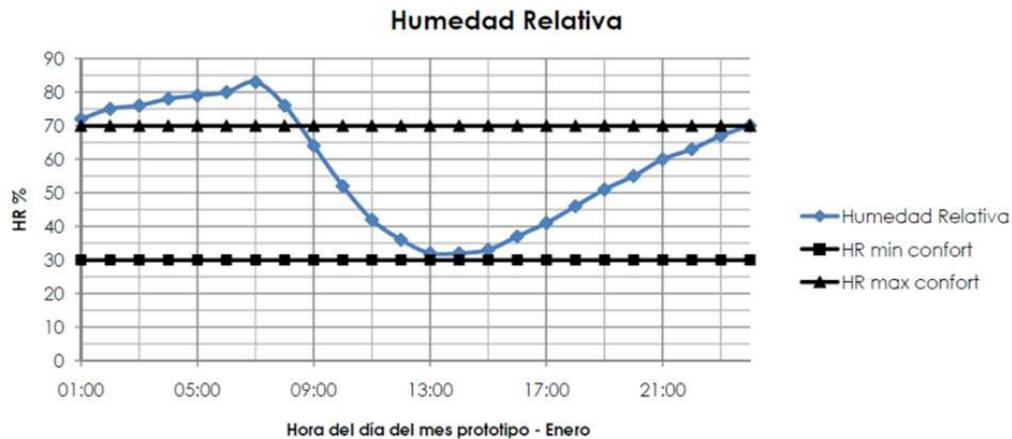
## 6.7 Análisis climático enero

A continuación se muestran el análisis climático del mes de enero del año 2010 medio de gráficas de los datos meteorológicos horarios de las condiciones atmosféricas presentes.



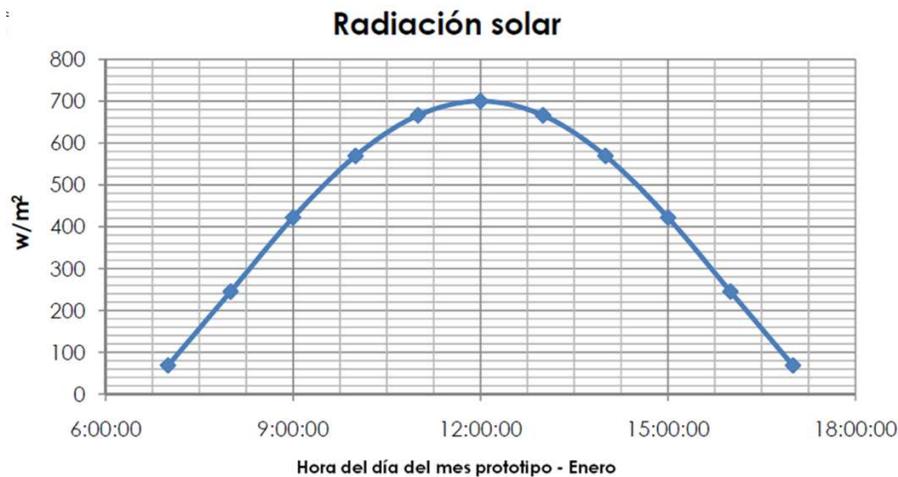
Gráfica 10 . Gráfica de temperatura horaria para el mes prototipo enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 10 muestra la temperatura horaria para un día del mes prototipo de enero, destacando que existe una gran oscilación de temperatura durante todo el día, siendo ésta mayor de 22 °C. Son muy pocos los periodos de tiempo durante el día que se encuentran dentro de la zona de confort, el primero entre poco antes de las 11:00 h y hasta las 12:00 h y el segundo después entre las 13:00 h y hasta las 18:00 h.



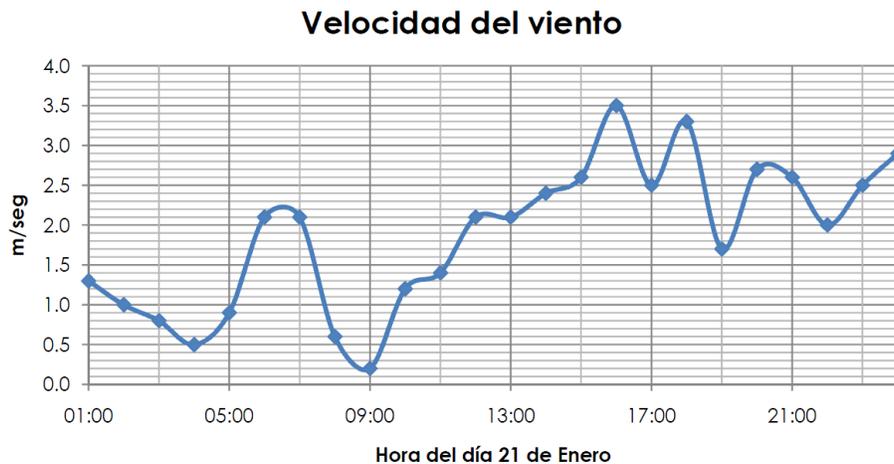
Gráfica 11 . Gráfica de humedad relativa horaria para el mes prototipo enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 11 muestra la de Humedad relativa horaria para un día promedio del mes prototipo de enero, en donde se observa que la mayor parte del día los registros se encuentran dentro de la zona de confort, solamente las primeras horas entre la 1:00 h y las 8:00 h se eleva arriba del rango de confort máximo, llegando a las 7:00 h a una HR de más del 80%.



Gráfica 12 . Gráfica de radiación solar horaria para el mes prototipo enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 12 muestra los datos de radiación solar horaria para un día promedio del mes prototipo de enero. Se observa que en este día se tiene radiación solar a partir de las 7:00 h hasta casi las 18:00 h. La máxima radiación se tiene a las 12 horas de día con una magnitud de 700 w/m<sup>2</sup>. Los datos se obtuvieron con el programa "Solar" creado por Balderas Romero.



Gráfica 13 . Gráfica de velocidad del viento horaria para el mes prototipo enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 13 registra la velocidad del viento horaria, los datos fueron recopilados de la Red Meteorológica REDMET, del subsistema del Sistema de Monitoreo Atmosférico SIMAT de la Ciudad de México.

La imagen 48 muestra la dirección del viento dominante para el mes prototipo de enero, resultando con dirección sureste.

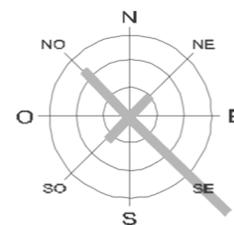
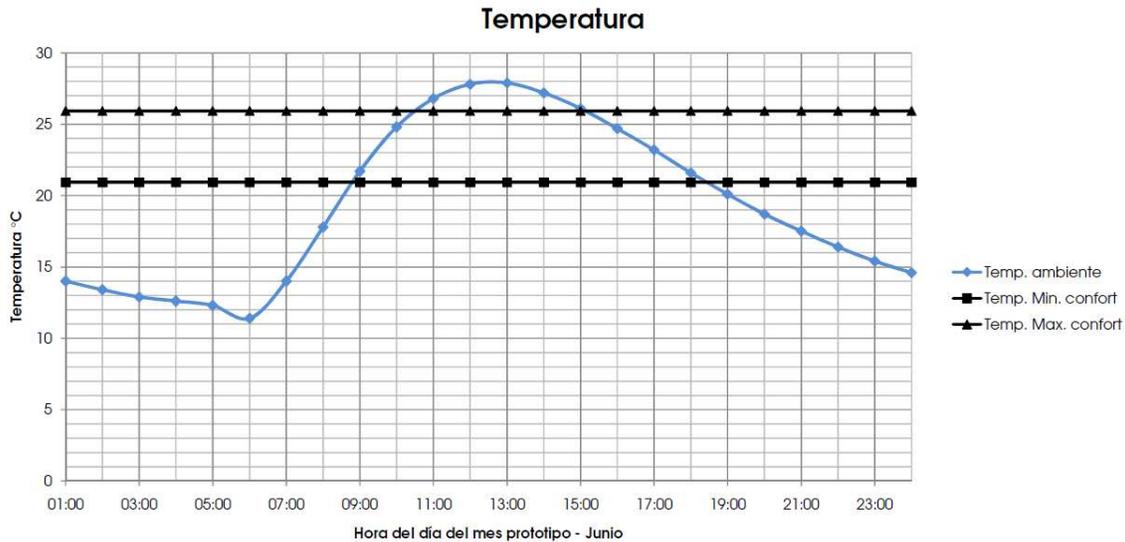


Imagen 48. Viento dominante para un día tipo del mes prototipo enero. Fuente: MORALES, Ponencia "Análisis de los requerimientos de enfriamiento en la vivienda". Universidad de Guadalajara, Jalisco 2002.

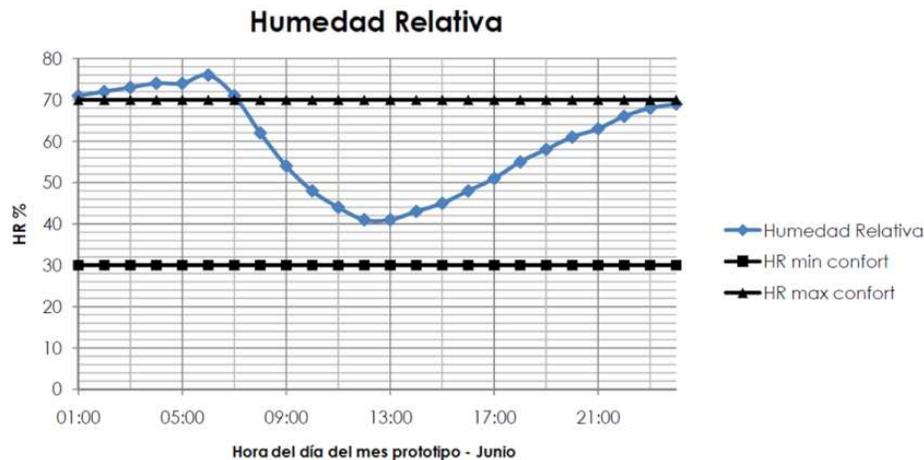
## 6.8 Análisis climático junio

A continuación se muestran el análisis climático del mes de junio por medio de gráficas de los datos meteorológicos horarios.



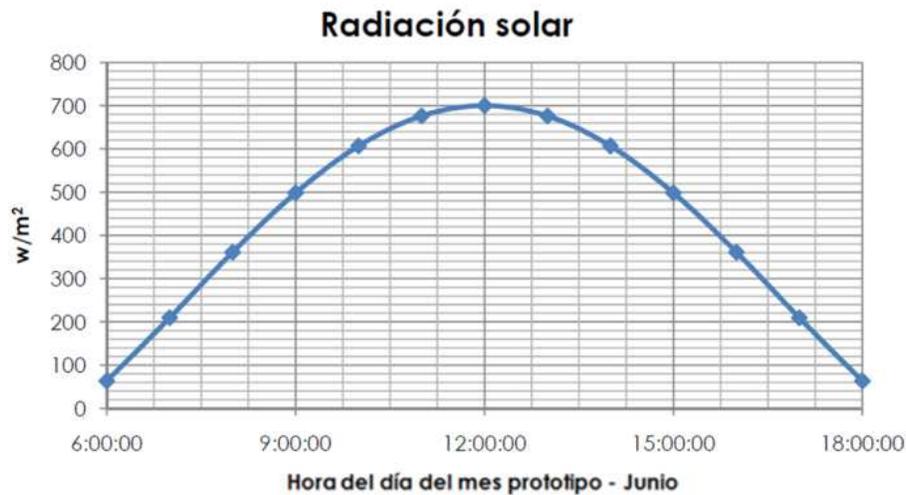
Gráfica 14 . Gráfica de temperatura horaria para el mes prototipo junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 14 muestra la temperatura horaria para un día del mes prototipo de junio, destacando que existe una oscilación de temperatura de 16.5 °C, menor por aproximadamente 5.5 °C que la registrada en el mes de enero. Son muy pocos los periodos de tiempo durante el día que se encuentran dentro de la zona de confort, el primero entre poco antes de las 9:00 h y hasta las 11:00 h y el segundo entre las 15:00 h y hasta las 18:00 h.



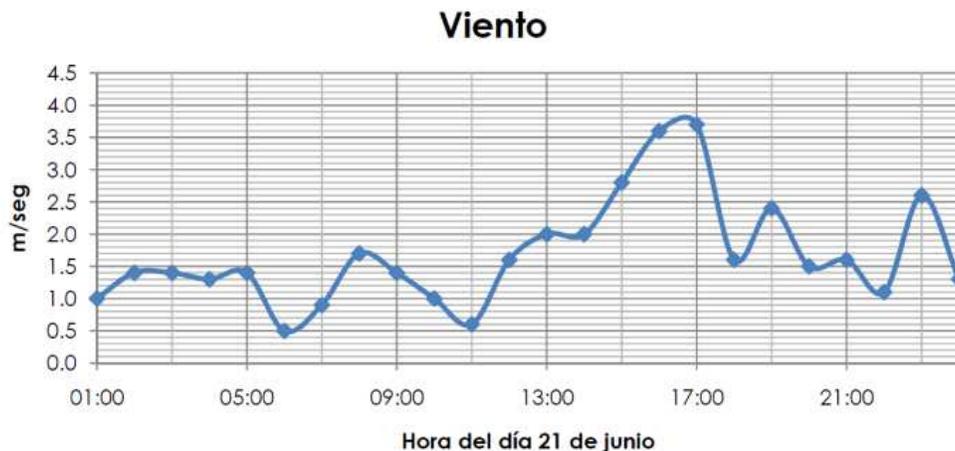
Gráfica 15 . Gráfica de temperatura horaria para el mes prototipo junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 15 muestra la de Humedad relativa horaria para un día promedio del mes prototipo de junio, en donde se observa que la mayor parte del día los registros se encuentran dentro de la zona de confort, solamente las primeras horas entre la 1:00 h y las 7:00 h se eleva arriba del rango de confort máximo, llegando a las 6:00 h a una HR de más del 76%.



Gráfica 16 . Gráfica de radiación solar horaria para el mes prototipo junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 16 muestra los datos de radiación solar horaria para un día promedio del mes prototipo de junio. Se observa que en este día se tiene radiación solar a partir de las 6:00 h hasta las 18:00 h. La máxima radiación se tiene a las 12 horas de día con una magnitud de 700 w/m<sup>2</sup>. Los datos se obtuvieron con el programa "Solar" creado por Balderas Romero.



Gráfica 17 . Gráfica de velocidad del viento horaria para el mes prototipo junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La gráfica 17 registra la velocidad del viento horaria, los datos fueron recopilados de la Red Meteorológica REDMET, del subsistema del Sistema de Monitoreo Atmosférico SIMAT de la Ciudad de México.

La imagen 49 muestra la dirección noroeste y sureste de los vientos dominantes para el mes prototipo de junio.

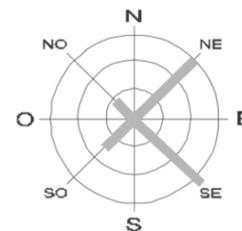


Imagen 49. Viento dominante para un día tipo del mes prototipo junio. Fuente: MORALES, Ponencia "Análisis de los requerimientos de enfriamiento en la vivienda", Universidad de Guadalajara, Jalisco 2002.

## 6.9 Modelo experimental

Durante el proceso de estudio del comportamiento de las cubiertas verdes, se analizó como modelo experimental la cubierta naturada ubicada en un departamento del edificio Colorín dentro de una Unidad Habitacional en la colonia Paseos del Sur de la Delegación Xochimilco, al sur de la Ciudad de México (Ver fotografía 8). Esta cubierta fue naturada por medio del proyecto PAPIIT número IN404608 "Quinta fachada: una propuesta estética y técnica" en el mes de enero del año 2010.

La temperatura del interior del departamento fue monitoreada previamente a la implementación la cubierta verde en la edificación, iniciando desde el mes de Noviembre del 2008. En enero de 2010 se colocó el sistema de naturación y se continuó el monitoreo incluyendo también las temperaturas en la cubierta.



Fotografía 8 . Vista norte del edificio donde se ubica el departamento con la cubierta naturada. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

El departamento ubicado en el segundo nivel del edificio Colorín, con una superficie de 50m<sup>2</sup>, distribuidos en una sola planta, dispone de las siguientes habitaciones:

- Cocina
- Estancia
- 2 recámaras
- Baño completo
- Área de servicio

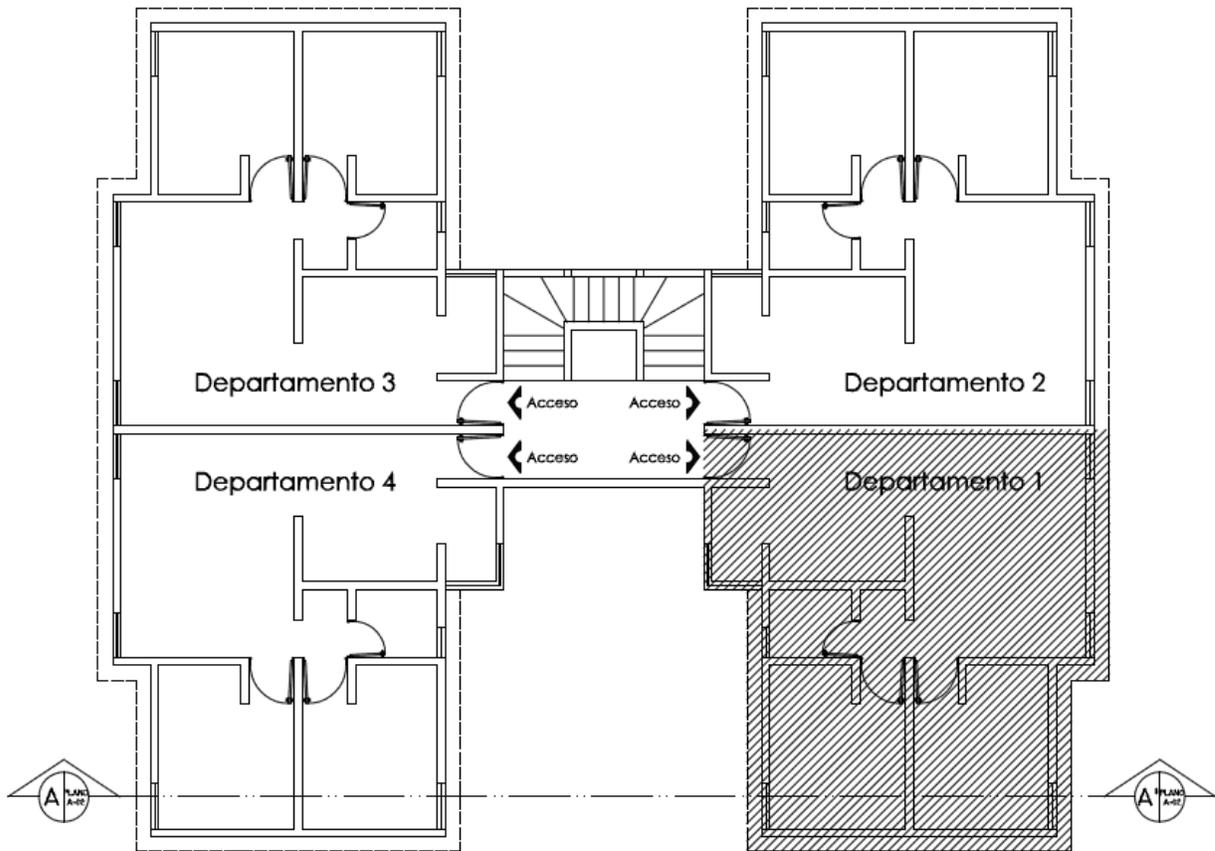
El departamento tiene orientación Noreste, las 2 recamaras tienen muro ciego hacia la orientación norte, en las fachadas este y oeste tienen ventanas, en los meses de mayo, junio y julio reciben radiación solar directa las tres fachadas y el techo, registrando temperaturas interiores de hasta de 31 °C, por lo tanto es necesario conservar las ventanas abiertas durante las horas de la tarde y noche. Hacia la fachada sur colinda con otro departamento colocado en espejo, impidiendo en el resto de los meses obtenga ganancias de calor por radiación en dicha fachada,



Imagen 50. Vista aérea de la cubierta del departamento seleccionado como modelo experimental. Fuente: Google Earth (Versión 6.0.3.2197), 2010.

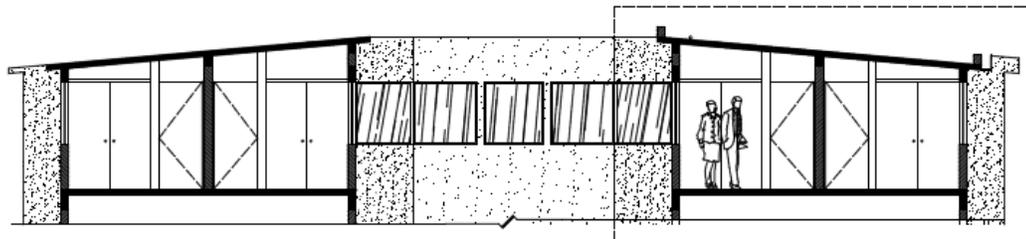
lo que repercute en la temperatura interior, principalmente en el mes de enero, donde se han registrado temperaturas de hasta 14 °C, lo que obliga a utilizar equipo de calefacción en los meses de noviembre, diciembre y enero (ORTEGA, y otros 2010).

A continuación se muestran los planos del departamento, primero su ubicación en el edificio habitacional y posteriormente la planta arquitectónica, la planta de azotea y la planta con la cubierta naturada.



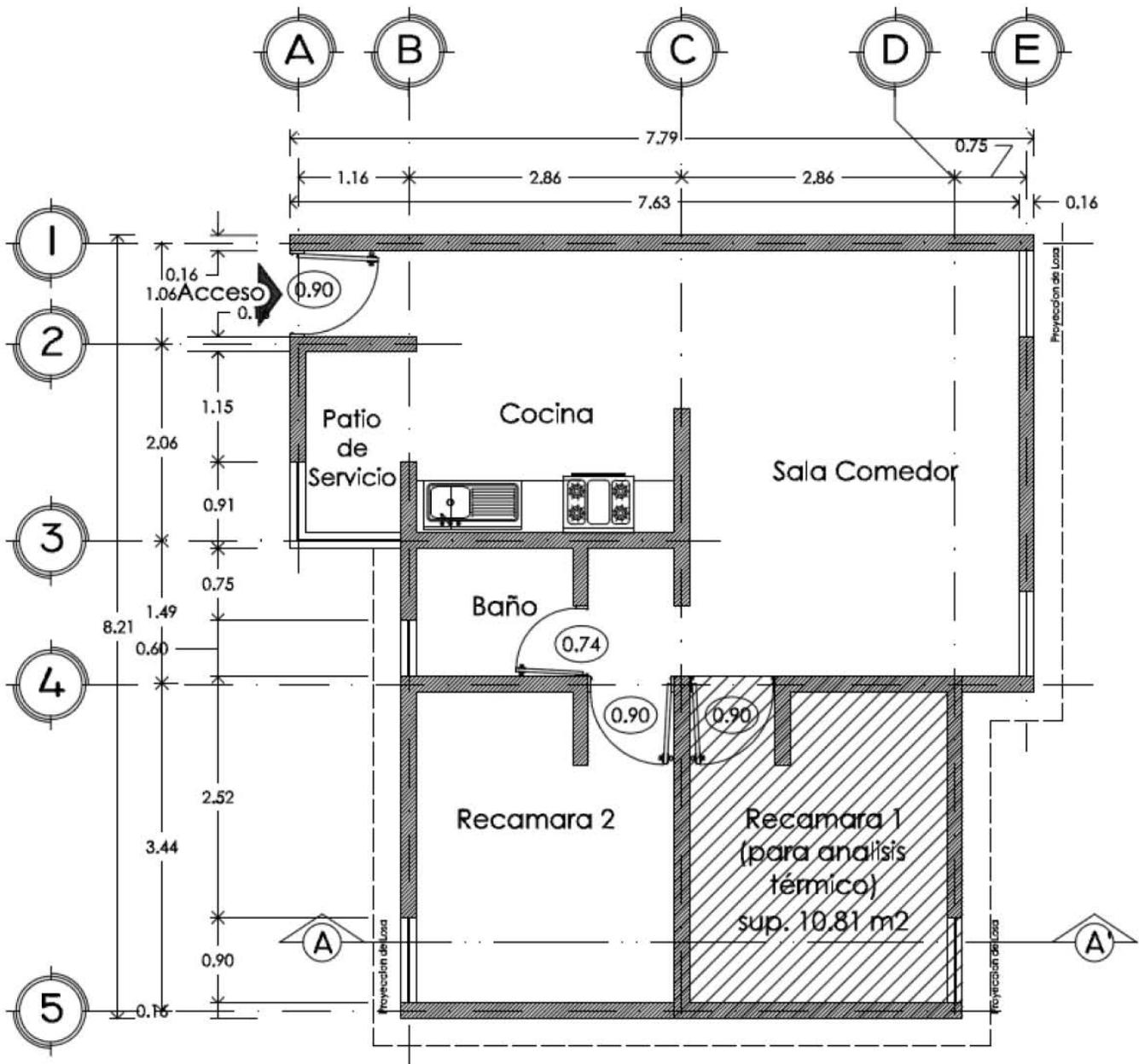
## PLANTA EDIFICIO COLORIN

**Plano 1.** Planta del Edificio Colorín, donde se muestra la ubicación del departamento seleccionado.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



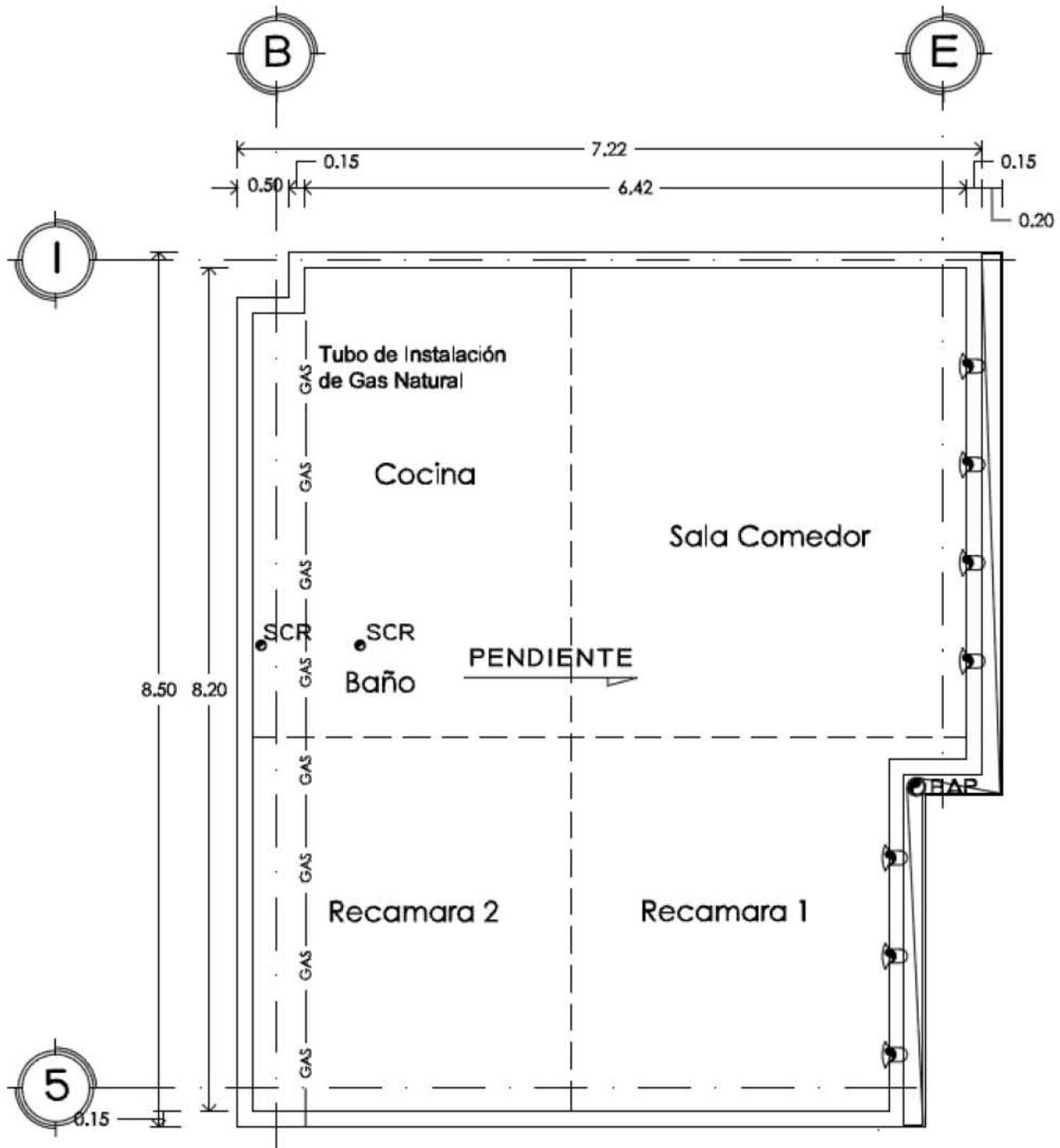
## SECCIÓN

**Plano 2.** Sección del Edificio Colorín, donde se muestra la ubicación del departamento seleccionado.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



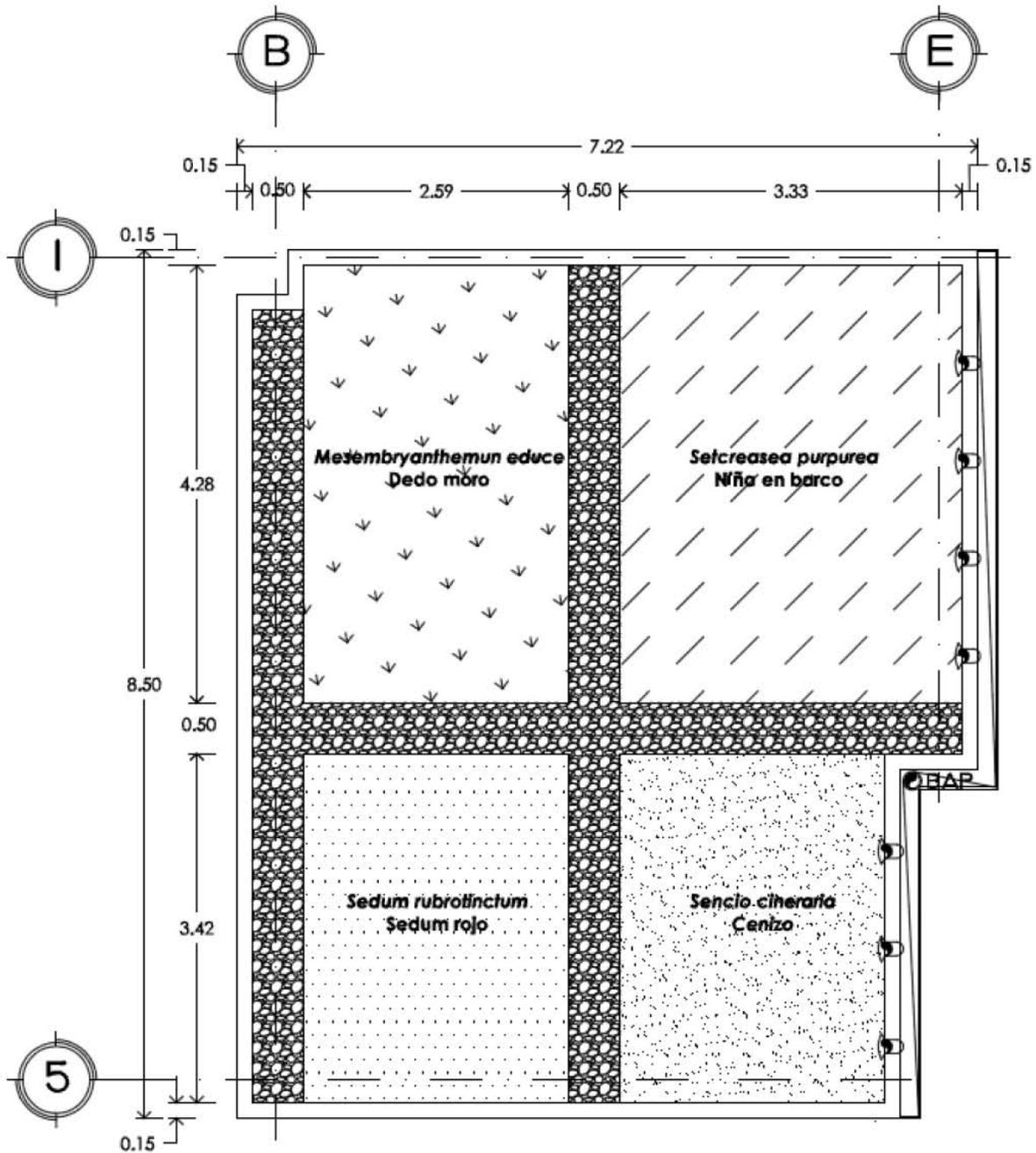
## Planta Departamento

Plano 3. Planta arquitectónica del departamento.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



## Planta Azotea

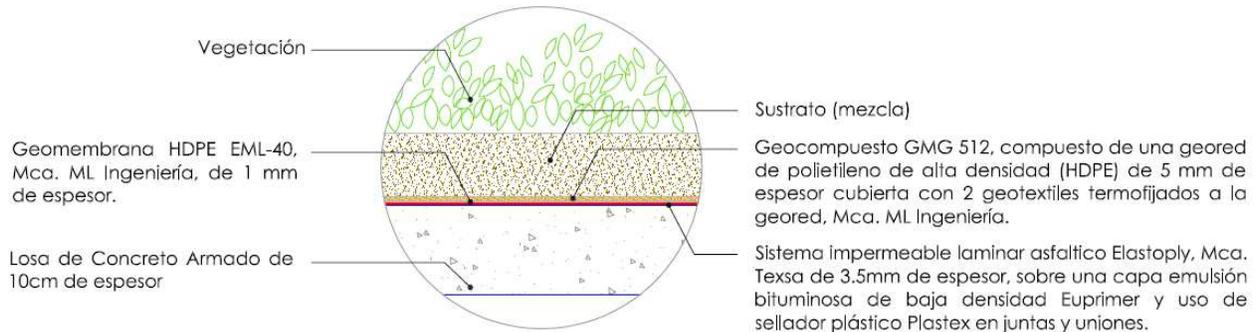
Plano 4. Planta de la azotea del departamento.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



## Planta Cubierta Naturada

Plano 5. Planta de la cubierta naturada del departamento.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La cubierta cuenta con un sistema de naturación multicapa, compuesto por: sistema de impermeabilización asfáltico que impide el paso de humedad a la estructura, una geomembrana que funciona como elemento antiraíz, un geocompuesto a base de una geored y un geotextil que funciona como dren, el sustrato y por último la capa de vegetación. En el siguiente detalle se muestran las especificaciones de los materiales utilizados:



**Plano 6.** Detalle 1. Especificaciones de los materiales que componen el sistema de naturación.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

Las imágenes siguientes muestran el proceso de instalación de la cubierta verde:

1. Pretil de tabique con aplanado fino, de 20cm de altura en todo el perímetro de la cubierta, que tiene la función de contener del sistema. También se observa la instalación y protección de sensores de temperatura en lecho alto de losa, por medio de un recubrimiento de cemento.
2. Aplicación de sellador plástico Plastex sobre toda la cubierta que fue limpiada previamente. Éste es colocado principalmente y con mucho cuidado en uniones, fisuras, grietas y elementos existentes, como tuberías de instalaciones y bajadas pluviales; sin dejar ninguna zona sin aplicar.
3. Membrana impermeable asfáltica colocada por medio de termofusión y sellada en uniones y traslapes con emulsión bituminosa Euprimer.
4. Colocación de la geomembrana con traslapes unidos por medio de aire caliente sujetada perimetralmente con perfiles metálicos y sobre esta capa se coloca el geocompuesto formando las secciones de la cubierta.
5. Sustrato de 7cm de espesor, pasillos de 50 cm de anchura de tepojal de color blanco y por último colocación de especies vegetales.



Imagen 51. Proceso de instalación de la cubierta naturada. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

La cubierta fue dividida en cuatro secciones usando diferente tipo de vegetación en cada una de ellas (Ver plano 5 e imagen 52). Las especies utilizadas son:

<i>Senecio cineraria</i>	Blanco
<i>Sedum rubrotinctum</i>	Rojo
<i>Setcreasea purpurea</i>	Morado
<i>Mesembryanthemum educe</i>	Verde

Se seleccionaron cuatro especies vegetales diferentes entre sí, para determinar cuál de ellas tiene mayor adaptación al sistema extensivo y cuál tiene un mejor desempeño térmico en todo el sistema de naturación. Las especies elegidas se muestran en la tabla 11.

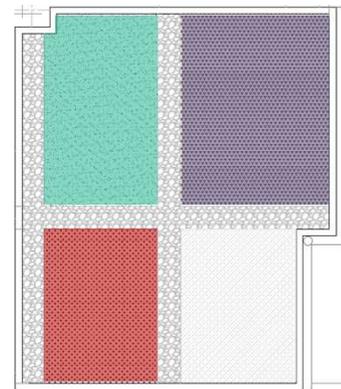


Imagen 52. Ubicación gráfica de color de las especies en la cubierta. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

	<b>Familia</b>	<b>Compositae (Asteraceae)</b>
	Nombre Científico	<i>Senecio cineraria</i> . ▲
	Nombre Común	Cenizo.
	<b>Familia</b>	<b>Crassulaceae</b>
	Nombre Científico	<i>Sedum rubrotinctum</i> ▲
	Nombre Común	Sedum rojo.
	<b>Familia</b>	<b>Commelinaceae</b>
	Nombre Científico	<i>Setcreasea purpurea</i> ▲
	Nombre Común	Niña en barco.
	<b>Familia</b>	<b>Aizoáceas</b>
	Nombre Científico	<i>Mesembryanthemum educe</i> ▲
	Nombre Común	Dedo moro.

Tabla 11. Identificación de las cuatro especies utilizadas en la naturación de la cubierta. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



Fotografía 9 . Instalación de la estación meteorológica en la cubierta naturada. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



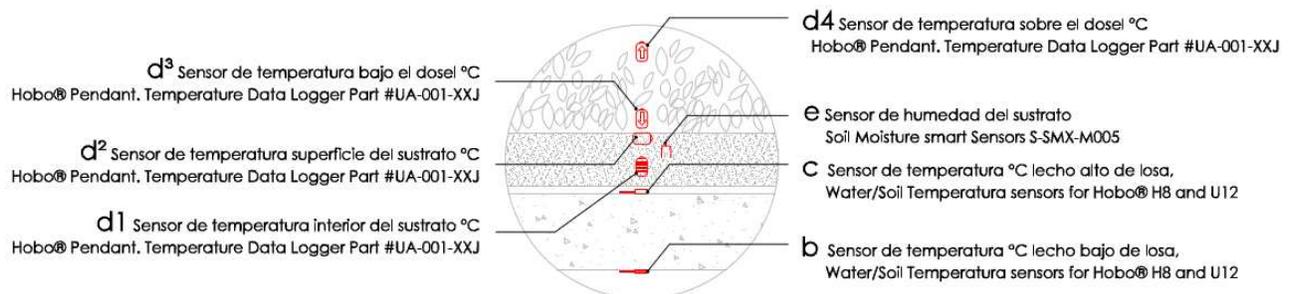
Fotografía 10 . Revisión y monitoreo de la cubierta naturada. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

La composición del sustrato ocupado en la cubierta, fue determinada por el tipo de especies a utilizar, además se seleccionó para que contara con un peso ligero y permitiera un adecuado drenaje. La composición fue (LÓPEZ DE JUAMBELZ, y otros 2010):

- 2 partes de tierra negra
- 1 parte de tierra de hoja
- 2 partes de agrolita
- 1 parte de composta

El motivo de colocar distintas especies vegetales fue para poder monitorear su comportamiento y realizar una comparativa entre éstas.

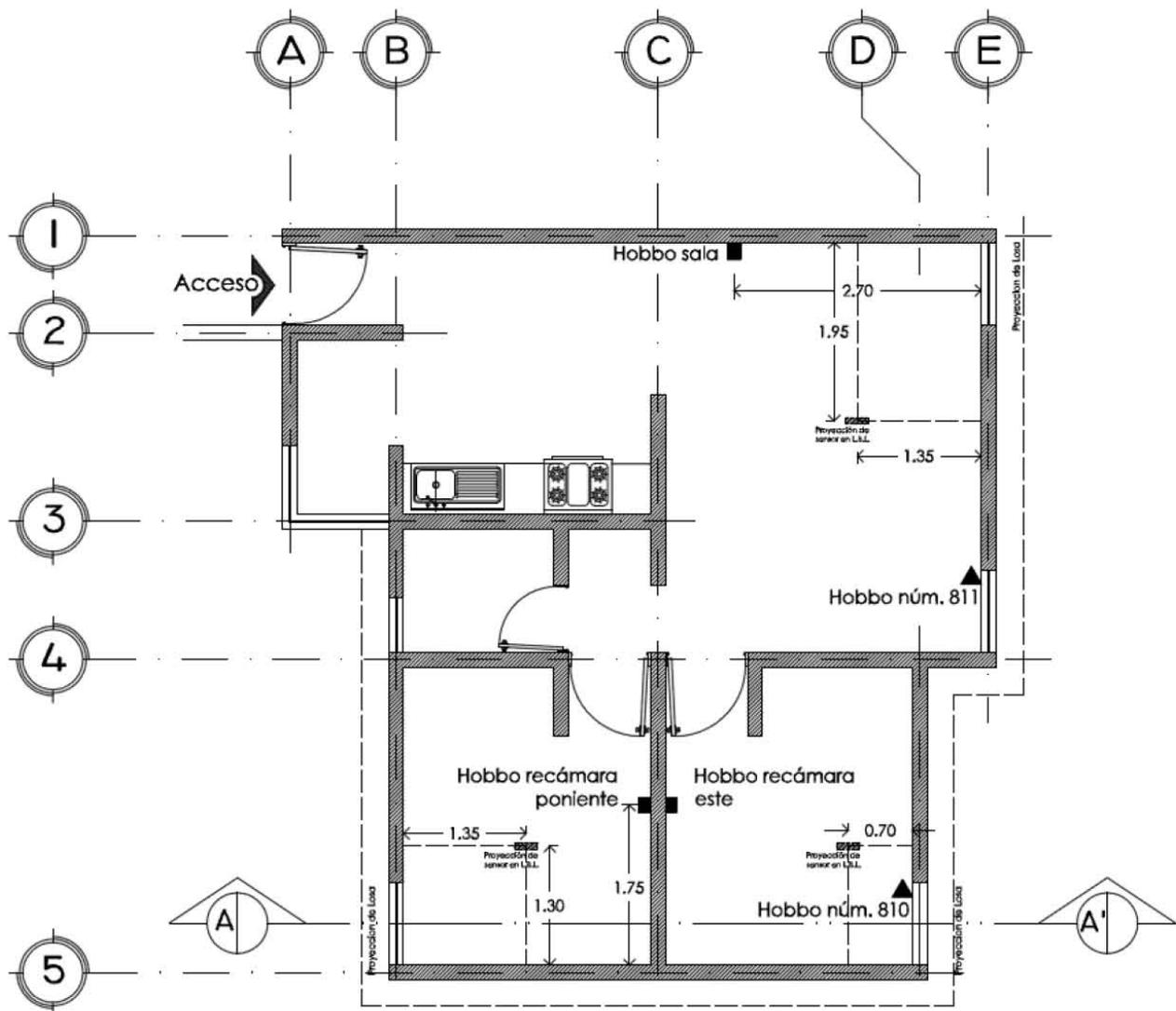
En cada sección de la cubierta se instaló equipo de medición para registrar la temperatura en ella y también dentro de las habitaciones. Dichos sensores de temperatura se encuentran ubicados en las cuatro secciones en que se divide la cubierta con distinta vegetación, el sistema se conforma de un sensor en el lecho alto de losa, otro en el bajo de losa y por último uno al interior de la habitación, también se tiene registro de la temperatura ambiental exterior, y de la temperatura del lecho alto de losa de una cubierta sin naturación que funciona como testigo. Podemos ver en el siguiente detalle la distribución y tipo de sensores utilizados.



**Plano 7.** Detalle 2. Ubicación y descripción de los sensores que se encuentran en el sistema de naturación. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

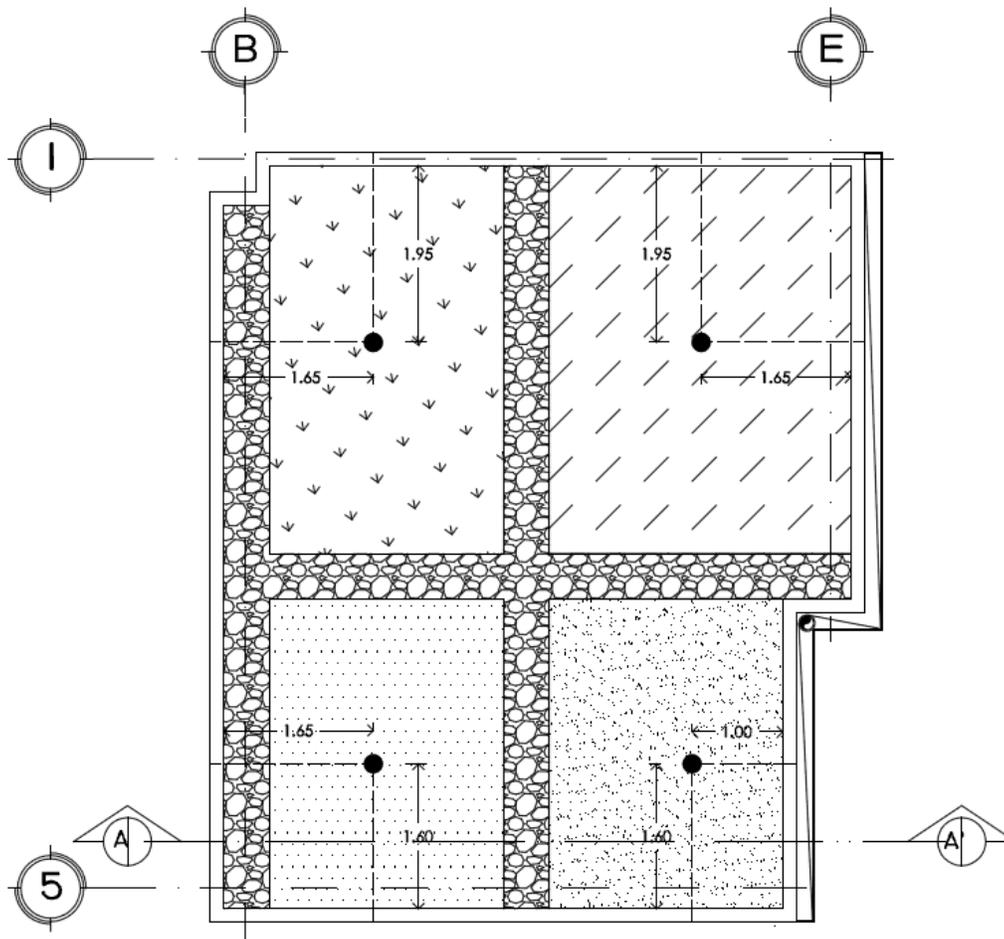


**Imagen 53.** Vista de la cubierta naturada. Fuente: ORTEGA, "Diseño del modelo paramétrico para evaluar el desempeño térmico de una cubierta verde", Artículo SNES2010-ABC-038, México 2010.



## Planta Departamento

Plano 8. Planta arquitectónica del departamento donde se muestra la ubicación de los sensores.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



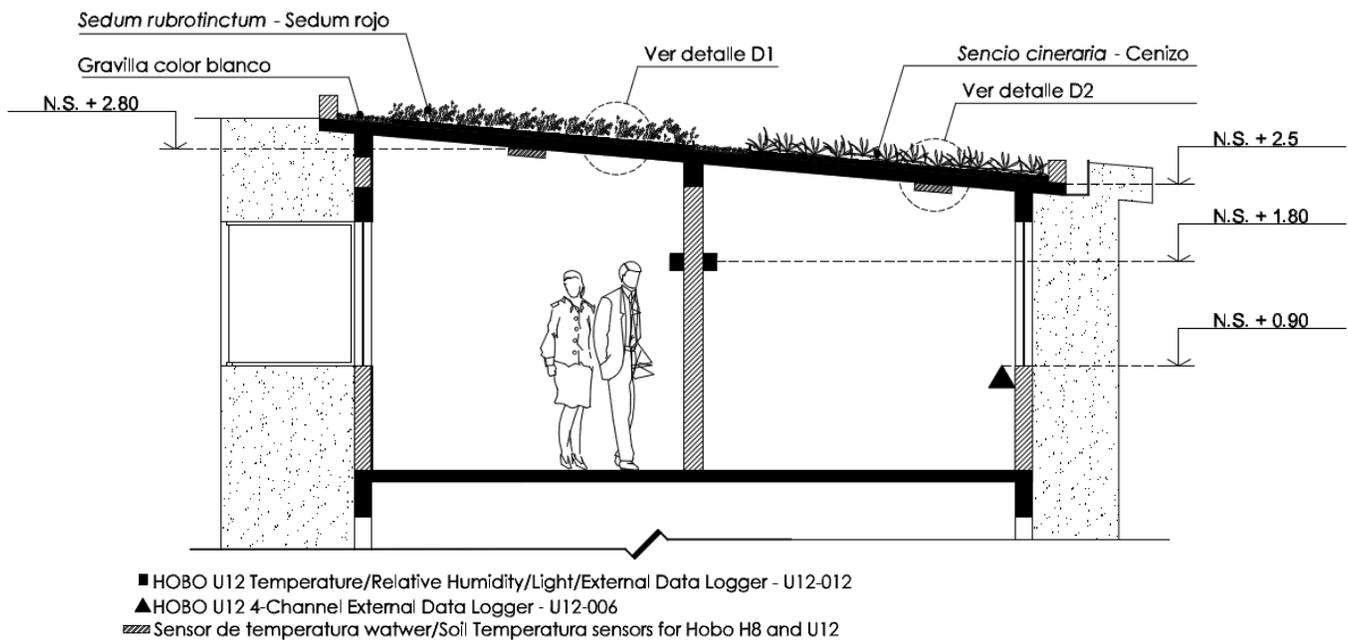
- Ubicación de grupos de sensores por tipo de vegetación

## Planta Cubierta Naturada

Plano 9. Planta arquitectónica de la cubierta naturada donde se muestra la ubicación de los sensores. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



Fotografía 11. Monitoreo de la cubierta naturada. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.



## Corte A-A'

Plano 10. Corte A-A'. Ubicación de los sensores. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

El plano 8 muestra la ubicación y especificación de los sensores en la planta arquitectónica del departamento, el plano 9 su ubicación en la cubierta y el plano 10 su ubicación en el corte arquitectónico A-A', marcando las alturas en donde se encuentran. Las fotografías 9 y 10 muestran la instalación de los sensores al interior del departamento.



Fotografía 12 . Instalación del sensor HOBO U12, ubicado en la sala del departamento. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010



Fotografía 13 . Instalación del sensor HOBO U12, ubicado en la recámara poniente. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

A continuación se muestran las fichas de identificación de las especies utilizadas en el modelo experimental, cada ficha cuenta con:

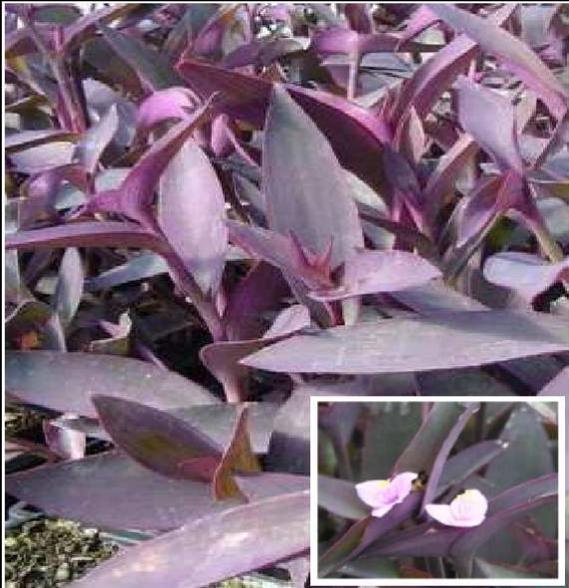
- características generales,
- requerimientos generales
- características botánicas principales,
- imagen general y a detalle

 <p style="text-align: right;">Imagen</p>	<p style="text-align: center;"><b>Características generales</b></p> <p>Nombre científico <i>Senecio cineraria</i>                  Nombre común Cenizo                  Familia Compositae (Asteraceae)                  Origen Región Mediterránea                  Dimensión 0.20 x 0.20 m                  Coloración Gris plateado                  Floración Verano</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Requerimientos</b></p> <p>Iluminación Sol directo, sombra ligera                  Suelo Cualquier tipo                  Clima Cálido a templado. Hasta -10°C                  Riego Escaso                  Propagación Esquejes y semillas</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Características botánicas</b></p> <p>Mata perenne, ramificada desde la base. Hojas alternas, pinnatipartidas, haz glabrescente, envés densamente blanco-tomentoso, segmentos a menudo bipinnatífidos. Flores de color amarillo.</p>

Ficha 1 . Ficha de identificación de la especie *Senecio cineraria*. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

 <p style="text-align: right;">Imagen</p>	<p style="text-align: center;"><b>Características generales</b></p> <p>Nombre científico <i>Sedum rubrotinctum</i>                  Nombre común Sedum rojo                  Familia Crassulaceae                  Origen México                  Dimensión 0.10 x 0.10 m                  Coloración Verde- rojo a plenosol                  Floración Primavera</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Requerimientos</b></p> <p>Iluminación Sol directo                  Suelo Cualquier tipo                  Clima Cálido a templado. Hasta -3°C                  Riego Escaso                  Propagación Esquejes acabada la floración</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Características botánicas</b></p> <p>Planta suculenta. Hojas en forma de piñón, de unos 2 cm de largo, de color verde vivo brillante, que se tiñen de rojo con el sol del verano. Flores color amarillo.</p>

Ficha 2 . Ficha de identificación de la especie *Sedum rubrotinctum*. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

 <p style="text-align: right;">Imagen</p>	<p style="text-align: center;"><b>Características generales</b></p> <p>Nombre científico <i>Setcreasea purpurea</i>                  Nombre común Niña en barco                  Familia Commelinaceae                  Origen México                  Dimensión 0,30 m altura                  Coloración Púrpura                  Floración Fin del verano</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Requerimientos</b></p> <p>Iluminación Sol directo, sombra ligera                  Suelo Cualquier tipo                  Clima Cálido a templado. Hasta -3°C                  Riego Moderado                  Propagación Esquejes en primavera o verano</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Características botánicas</b></p> <p>Planta vivaz de hojas carnosas, rastrera. Hojas lanceoladas, sin peciolo que crecen del tallo. Planta de tacto aterciopelado. Las plagas más frecuentes son las de mosca blanca.</p>

Ficha 3 . Ficha de identificación de la especie *Setcreasea purpurea*. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

 <p style="text-align: right;">Imagen</p>	<p style="text-align: center;"><b>Características generales</b></p> <p>Nombre científico <i>Mesembryanthemum educe</i>                  Nombre común Dedo moro                  Familia Aizoáceas                  Origen Sur de África                  Dimensión hasta 25cm altura                  Coloración Verde                  Floración Fin de invierno y primavera</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Requerimientos</b></p> <p>Iluminación Sol directo                  Suelo Cualquier tipo                  Clima Cálido                  Riego Escaso                  Propagación Esquejes</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Características botánicas</b></p> <p>Planta perenne suculenta, de porte extendido y breñoso, sus flores tienen forma de margarita de distintos colores con el centro amarillo, sus tallos son erguidos y sus hojas estrechas de hasta 30 cm. de altura y con un...</p>

Ficha 4 . Ficha de identificación de la especie *Mesembryanthemum educe*. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

## Capítulo 7. DESEMPEÑO TÉRMICO DE LA CUBIERTA.....

En este capítulo se estudia el desempeño térmico de la cubierta para los dos meses de diseño: enero seleccionado por ser el mes más frío y junio por ser el más cálido del año, se eligió el día 21 como día prototipo de análisis para cada mes (debido al análisis solar). Los dos modelos empleados para el análisis son:

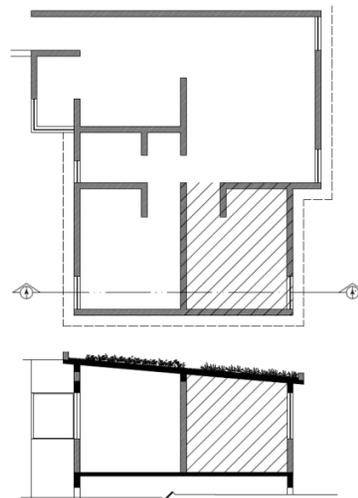
- Modelo matemático. Se analizó térmicamente el desempeño de la cubierta por medio del cálculo térmico de una de las habitaciones del departamento, el espacio seleccionado es la recámara poniente (la orientación más desfavorable térmicamente).
- Modelo experimental. Se analizó el desempeño térmico de la cubierta por medio del monitoreo y registro térmico de varias zonas de la cubierta.

### 7.1 Modelo matemático

Se realizó el cálculo térmico de una de las habitaciones del departamento, de la recámara poniente (Ver plano 11) de acuerdo a los datos del análisis climático de la zona de estudio, de las propiedades de la edificación (dimensiones, materiales, equipo, etc.) y de los usuarios del espacio. Este cálculo se desarrolló para el día 21, seleccionado como día prototipo de cada uno de los dos meses de diseño elegidos a partir del análisis climático.

El cálculo se hizo por medio de la metodología del Dr. José Diego Morales Ramírez, la cual toma como referencia el método del programa TRANSYS elaborado en la Universidad de Wisconsin E.U., que tiene como principal objetivo analizar los flujos de calor de la edificación y estimar la temperatura horaria al interior del edificio.

Los datos de conductividad térmica y calor específico de los materiales inertes que componen el sistema de naturación fueron tomados de las mediciones realizadas por Carbajal, en su tesis de maestría "Diseño Térmico de Azotea Verde en Clima Cálido Subhúmedo" UNAM, México 2009. En la tabla 12 se muestran los datos utilizados.



Plano 11. Esquema de la ubicación de la recámara seleccionada para realizar el cálculo térmico. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

Datos de materiales del edificio	Espesor m	Conductividad Térmica w/m2 °C	Calor Específico KJ/Kg °C
Sistema impermeable laminar asfáltico Elastoply	0.003	0.005	0.169
Geomembrana HDPE EML-40	0.001	0.001	0.174
Geocompuesto GMG 512	0.005	0.03	0.13
Sustrato de tierra vegetal	0.07	0.073	0.5

Tabla 12. Datos de materiales inertes utilizados en el cálculo térmico. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

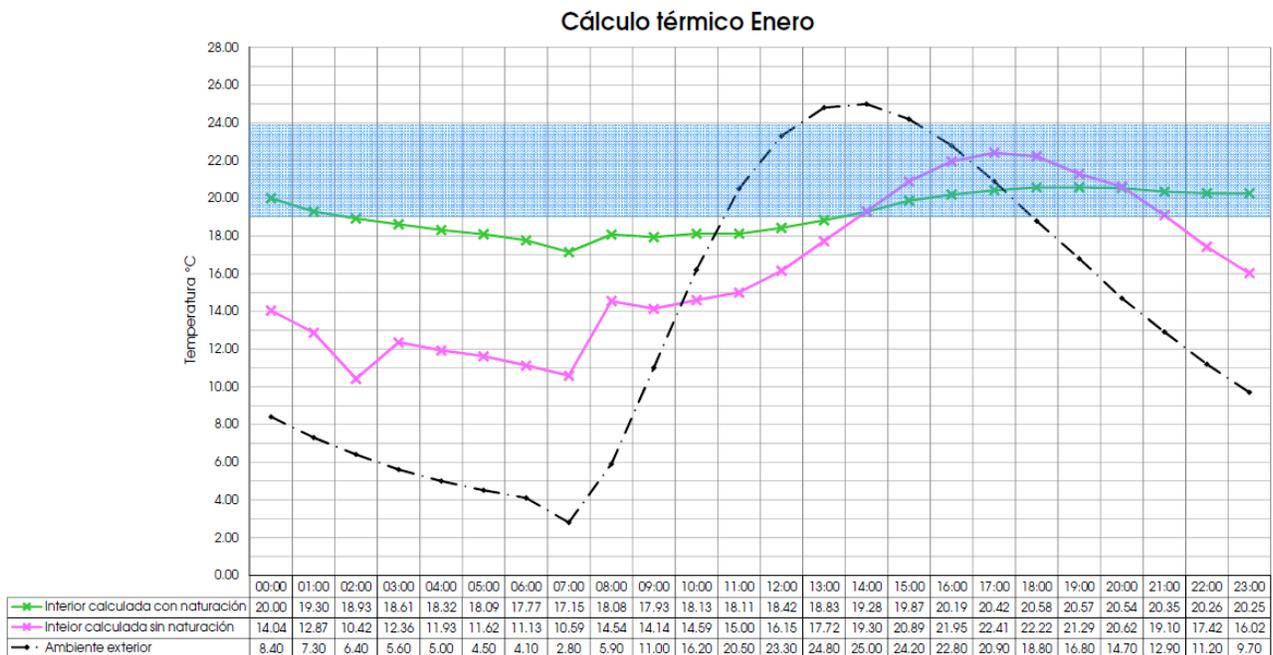
El dato de conductividad térmica de la vegetación que se utilizó para realizar el cálculo térmico fue tomado de los resultados de las mediciones de las propiedades térmicas de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental (Ver Capítulo 2 y tabla 13), realizadas en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM), UNAM.

Especie vegetal	Conductividad Térmica w/m2 °K
Dedo moro	0.053
Cenizo	0.058
Sedum rojo	0.063
Niña en barco	0.077

Tabla 13. Datos de conductividad térmica de las especies vegetales. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

El dato de calor específico de la vegetación fue tomado de los resultados de las características térmicas de los materiales de una cubierta naturada (ver tabla 14), mostrados en el artículo "La cubierta ecológica como material de construcción", autoría de Machado, Brito y Neila, publicado en Informes de la Construcción, Vol.52, número 467, páginas 15-29, en el año 2000. En esta publicación reportan un calor específico de 1424 J/Kg°C para una vegetación de bajo porte del género vegetal *Sedum*.

### 7.1.1 Cálculo térmico enero.



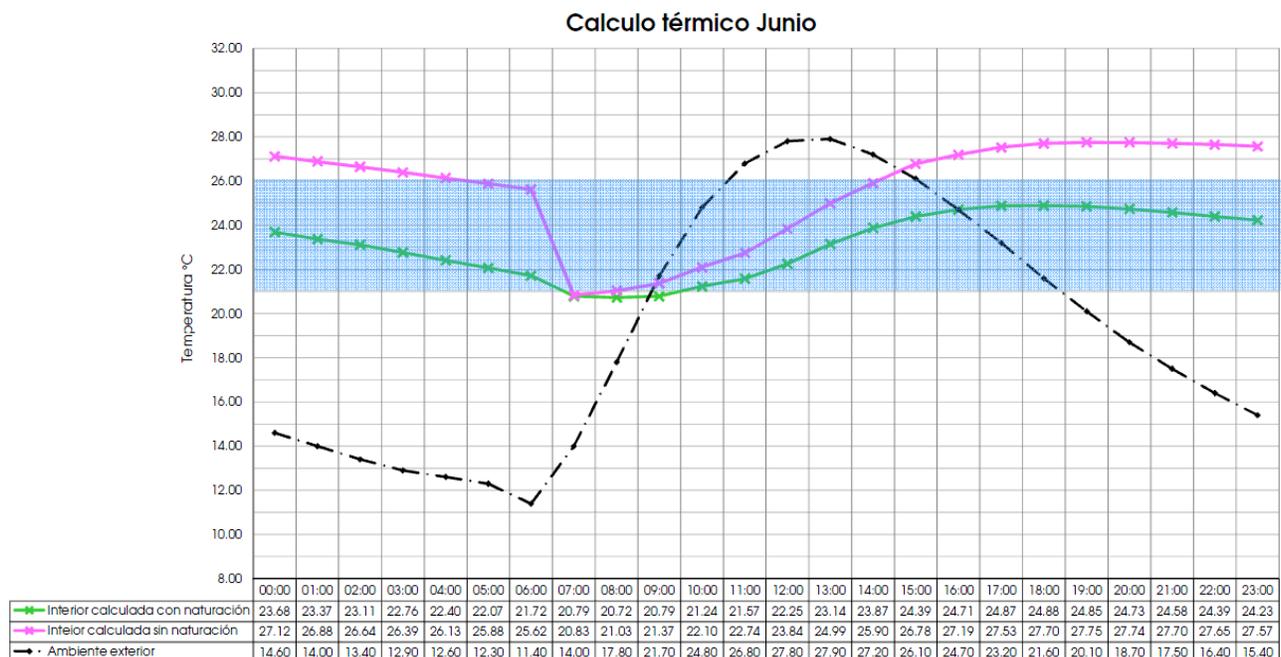
Gráfica 18 . Gráfica de resultados del cálculo térmico en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

La gráfica 18 muestra que la temperatura interior calculada está muy cerca del rango de confort, por lo cual la habitación tiene un buen desempeño térmico, en gran medida al uso de naturación de la cubierta, dado que regula térmicamente las ganancias y pérdidas de calor. Este efecto es más notable al compararla con la temperatura interior calculada sin naturación, donde es mucho mayor su fluctuación total diaria, habiendo una diferencia de más de 8.55 °C.

Debido a la cercanía que tiene la temperatura calculada interior con naturación con la zona de confort no es necesario realizar alguna estrategia de climatización pasiva, tal vez,

si es que fuera indispensable, se sugeriría el uso de calentamiento por las primeras horas de la mañana, quizá por medio del uso de masa térmica y también evitando la ventilación interior.

### 7.1.2 Cálculo térmico junio.



**Gráfica 19** . Gráfica de resultados del cálculo térmico en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Los resultados del cálculo térmico realizado en el mes de junio son mostrados en la gráfica 19. Éstos indican que la temperatura interior están dentro de la zona de confort durante casi todo el día, exceptuando el tiempo entre las 7:00 h y las 8:00 h, con temperaturas que son más bajas que la temperatura de confort mínima por menos de 0.03 °C, lo que no representa una desviación significativa, por lo tanto se puede decir que la habitación cuenta con excelente desempeño térmico, debido en gran medida al uso de naturación en la cubierta, que trabaja regulando térmicamente los flujos de ganancias y pérdidas térmicas al interior de la habitación; por lo que no es necesario realizar estrategias de climatización. Los resultados de la temperatura interior sin el uso de naturación revelan que más de la mitad del día se encuentran más elevadas que la temperatura máxima de confort, habiendo una diferencia de más de 2.75 °C en la fluctuación total diaria con respecto a la temperatura calculada con sistema de naturación en la cubierta.

Enseguida se muestran dos tablas con los datos generales del cálculo horario realizado para los dos días de análisis térmico, en las cuales se tabulan los datos climáticos que intervienen, el Qload W y finalmente la temperatura interior estimada horaria del espacio con el uso del sistema de naturación.

Enero	Hora	Temperatura ambiente	Radiación solar global	Humedad relativa	Viento	Qload W	Temperatura Interior
	12:00:00 a.m.	8.4	0	70	2.9	-2875.73	20.00
	01:00:00 a.m.	7.3	0	72	1.3	-1521.78	19.30
	02:00:00 a.m.	6.4	0	75	1.0	-1324.39	18.93
	03:00:00 a.m.	5.6	0	76	0.8	-1179.86	18.61
	04:00:00 a.m.	5	0	78	0.5	-921.32	18.32
	05:00:00 a.m.	4.5	0	79	0.9	-1339.64	18.09
	06:00:00 a.m.	4.1	0	80	2.1	-2536.83	17.77
	07:00:00 a.m.	2.8	68.56	83	2.1	-2895.53	17.15
	08:00:00 a.m.	5.9	244.94	76	0.6	-647.13	18.08
	09:00:00 a.m.	11	421.87	64	0.2	822.19	17.93
	10:00:00 a.m.	16.2	569.21	52	1.2	-66.29	18.13
	11:00:00 a.m.	20.5	666.2	42	1.4	1249.49	18.11
	12:00:00 p.m.	23.3	700	36	2.1	1689.26	18.42
	01:00:00 p.m.	24.8	666.2	32	2.1	1853.07	18.83
	02:00:00 p.m.	25	569.21	32	2.4	2429.69	19.28
	03:00:00 p.m.	24.2	421.87	33	2.6	1313.55	19.87
	04:00:00 p.m.	22.8	244.94	37	3.5	957.74	20.19
	05:00:00 p.m.	20.9	68.56	41	2.5	626.36	20.42
	06:00:00 p.m.	18.8	0	46	3.3	-39.89	20.58
	07:00:00 p.m.	16.8	0	51	1.7	-107.49	20.57
	08:00:00 p.m.	14.7	0	55	2.7	-901.88	20.54
	09:00:00 p.m.	12.9	0	60	2.6	-1249.25	20.35
	10:00:00 p.m.	11.2	0	63	2.0	-1299.74	20.26
	11:00:00 p.m.	9.7	0	67	2.5	-1299.74	20.25

Tabla 14. Datos del cálculo térmico para el mes de enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

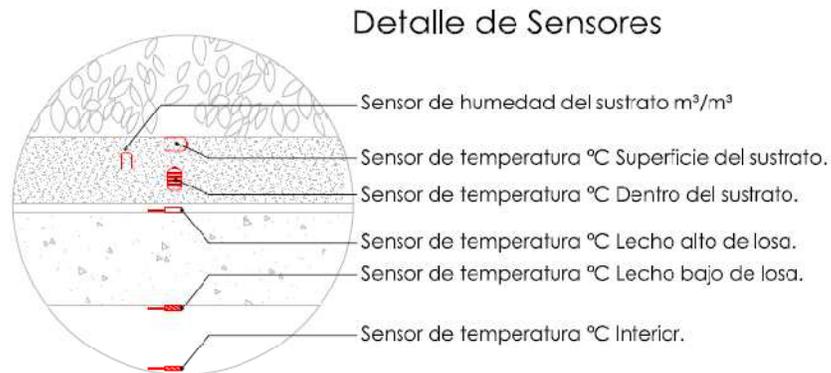
Hora	Temperatura ambiente	Radiación solar global	Humedad relativa	Viento	Qload W	Temperatura Interior	
	12:00:00 a.m.	14.6	0	69	1.3	-1259.65	23.68
	01:00:00 a.m.	14	0	71	1.0	-1062.45	23.37
	02:00:00 a.m.	13.4	0	72	1.4	-1448.23	23.11
	03:00:00 a.m.	12.9	0	73	1.4	-1466.17	22.76
	04:00:00 a.m.	12.6	0	74	1.3	-1364.74	22.4
	05:00:00 a.m.	12.3	0	74	1.4	-1428.85	22.07
	06:00:00 a.m.	11.4	63.31	76	0.5	-593.73	21.72
	07:00:00 a.m.	14	209.5	71	0.9	-248.27	20.79
	08:00:00 a.m.	17.8	361.11	62	1.7	247.43	20.72
	09:00:00 a.m.	21.7	498.28	54	1.4	1850.65	20.79
	10:00:00 a.m.	24.8	606.76	48	1.0	1360.58	21.24
	11:00:00 a.m.	26.8	676.14	44	0.6	2794.01	21.57
	12:00:00 p.m.	27.8	700	41	1.6	3660.10	22.25
	01:00:00 p.m.	27.9	676.14	41	2.0	3000.33	23.14
	02:00:00 p.m.	27.2	606.76	43	2.0	2133.01	23.87
	03:00:00 p.m.	26.1	498.28	45	2.8	1296.76	24.39
	04:00:00 p.m.	24.7	361.11	48	3.6	676.28	24.71
	05:00:00 p.m.	23.2	209.5	51	3.7	31.09	24.87
	06:00:00 p.m.	21.6	63.31	55	1.6	-119.99	24.88
	07:00:00 p.m.	20.1	0	58	2.4	-496.49	24.85
	08:00:00 p.m.	18.7	0	61	1.5	-599.38	24.73
	09:00:00 p.m.	17.5	0	63	1.6	-778.36	24.58
	10:00:00 p.m.	16.4	0	66	1.1	-660.14	24.39
	11:00:00 p.m.	15.4	0	68	2.6	-2271.12	24.23

Junio

Tabla 15. Datos del cálculo térmico para el mes de junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

## 7.2 Modelo experimental

Es importante analizar el desempeño térmico de cada sección de la cubierta naturada, recordemos que existen especies vegetales distintas por cada zona del departamento, por lo tanto se ha monitoreado cada una de ellas; a continuación se muestran los datos registrados de temperatura y una comparación según la especie vegetal en diferentes partes del sistema de naturación como lo muestra el siguiente detalle:

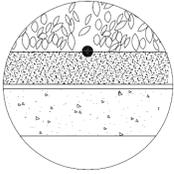


**Plano 12.** Detalle 3. Ubicación y descripción de los sensores utilizados en el monitoreo térmico de la cubierta verde.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2010.

Debido a un problema técnico con los sensores ubicados en la zona de cocina y baño, no se pudo registrar datos de la especie vegetal *Mesembryanthemum educe* de color verde, por lo que únicamente se comparan los otros tres colores de vegetación.

Las siguientes gráficas muestran el registro de temperatura en grados centígrados del monitoreo realizado en los dos meses de diseño, enero de 2011 denominado el mes más frío y junio de 2010 el mes más cálido del año, y seleccionando el día 21 para cada uno de los dos meses. Todas las páginas contienen aparte de una descripción general:

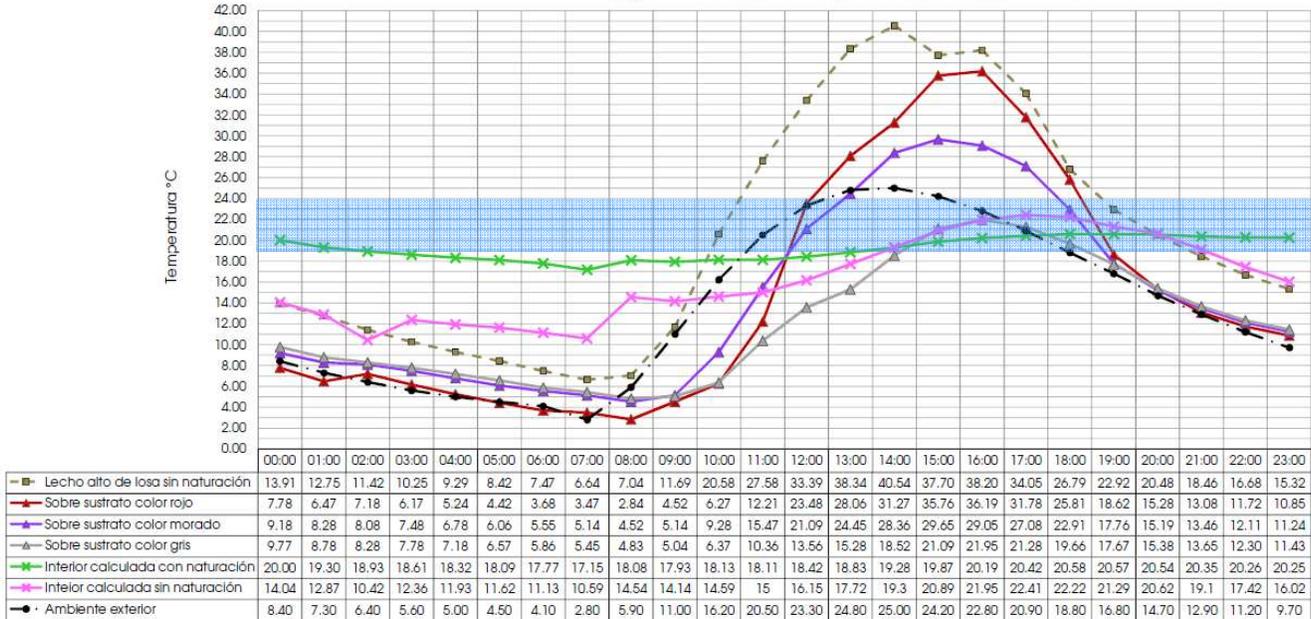
- Imagen de la ubicación del sensor dentro del sistema de naturación en la parte superior izquierda de la página.
- En las gráficas:
  - ✓ Se marca el rango de confort por medio de una barra azul translúcida.
  - ✓ Se comparan los registros de las tres especies vegetales por su color: rojo, morado y gris.
  - ✓ Se muestra el registro de temperatura en grados Celsius con precisión de décimas de grado.
- Se muestra dos tablas que muestran:
  - ✓ Los datos de fluctuación diaria de cada especie vegetal en el sensor analizado.
  - ✓ Las temperaturas máximas registradas en cada especie vegetal en el sensor analizado.
- Diagrama en el que se muestra la diferencia de fluctuación total diaria en grados Celsius entre cada sección de la azotea designado por la especie vegetal presente.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.1 Enero: desempeño térmico sobre el sustrato.

Sistema de Naturación  
comparación de temperatura sobre el sustrato



Gráfica 20 . Gráfica desempeño térmico sobre el sustrato en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

El desempeño térmico de las tres especies en esta ubicación del sistema muestra la misma tendencia durante el día, registrando temperaturas bajas durante la mañana y noche, siempre por debajo del rango de confort mínimo, y durante la tarde, entre las 13:00 h y las 18:00 h, temperaturas más elevadas que nunca rebasando los registros del lecho alto de losa sin naturación. La vegetación con una mejor regulación térmica en esta parte del sistema es la de color gris, correspondiente a la especie *Sencio cineraria*, con la menor fluctuación total diaria de 17.12 °C.

Sobre el sustrato	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	33.35
Color de vegetación Morado	25.13
Color de vegetación Gris	17.12

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	36.19
Color de vegetación Morado	29.66
Color de vegetación Gris	21.95

Tabla 16. Datos de registros sobre el sustrato en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

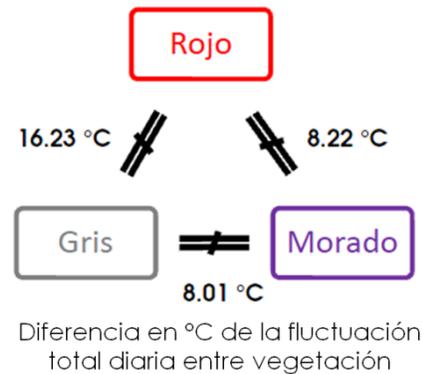
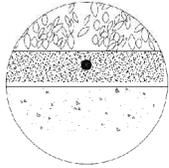
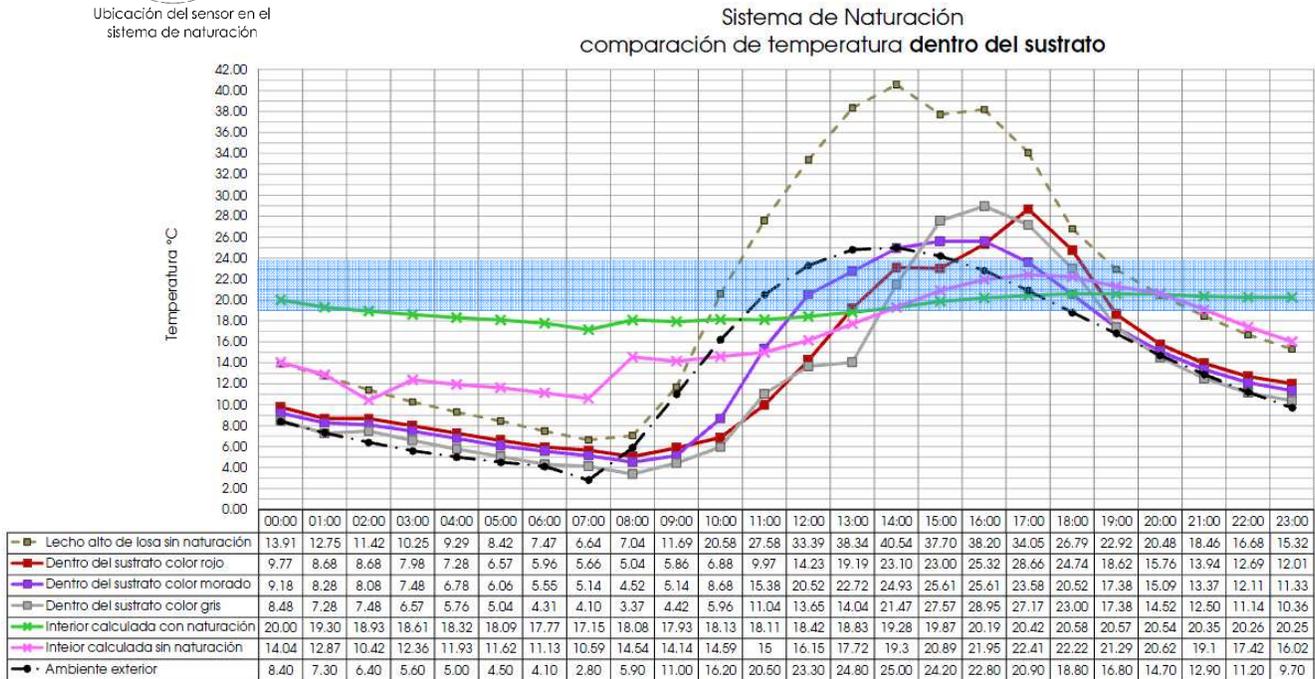


Diagrama 11 . Diferencia en °C sobre el sustrato enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.3 Enero: desempeño térmico dentro del sustrato.



Gráfica 21. Gráfica desempeño térmico dentro del sustrato en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Se observa que existe una mejor regulación térmica en el sistema de naturación debido en gran medida a las propiedades que confiere la capa sustrato a la cubierta; aunque aún así los registros están muy por debajo del rango de confort térmico. Es importante indicar que la sección de cubierta con la especie *Sencio cineraria* de color gris es la más desfavorable en esta sección del sistema, con la mayor fluctuación diaria y registrando la máxima temperatura, siendo que en la capa superior fue la que mejor desempeño tuvo.

Dentro del sustrato	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	23.62
Color de vegetación Morado	21.09
Color de vegetación Gris	25.59

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	28.66
Color de vegetación Morado	25.61
Color de vegetación Gris	28.95

Tabla 17. Datos de registros dentro del sustrato en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

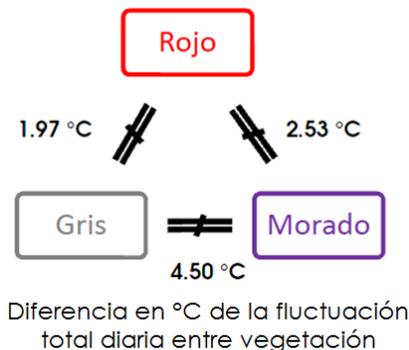
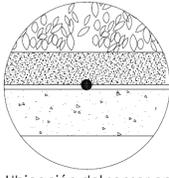
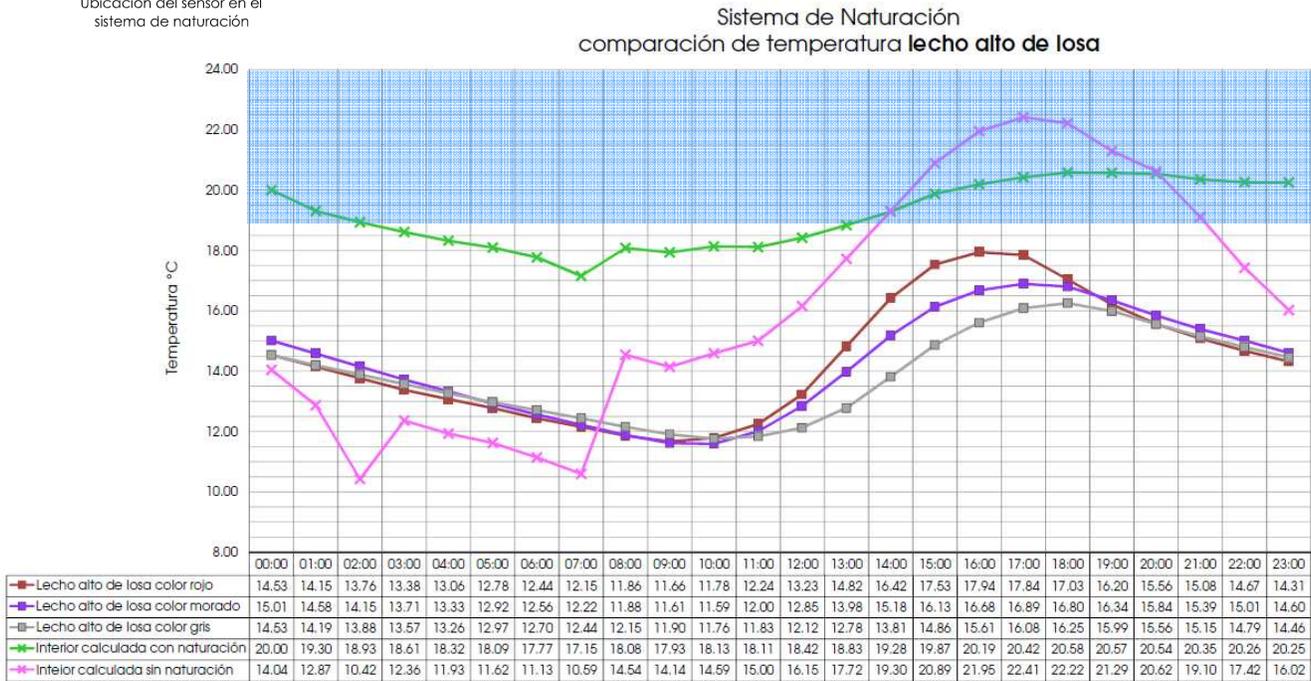


Diagrama 12. Diferencia en °C dentro del sustrato enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.4 Enero: desempeño térmico lecho alto de losa.



Gráfica 22 . Gráfica desempeño térmico en el lecho alto de losa en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México

El desempeño de la cubierta en las distintas secciones muestra la misma tendencia durante la mañana y la noche, presentando pequeñas diferencias por la tarde. Nuevamente el color gris (*Sencio cineraria*) registra la menor fluctuación total diaria, el efecto de regulación térmica es más evidente, aunque aún las temperaturas registradas siguen por debajo del rango de confort.

Lecho alto de losa	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	6.28
Color de vegetación Morado	5.3
Color de vegetación Gris	4.49

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	16.25
Color de vegetación Morado	16.90
Color de vegetación Gris	16.25

Tabla 18. Datos de registros lecho alto de losa en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

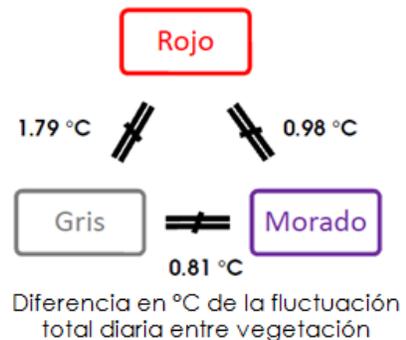
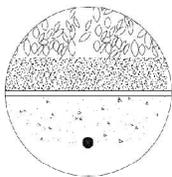
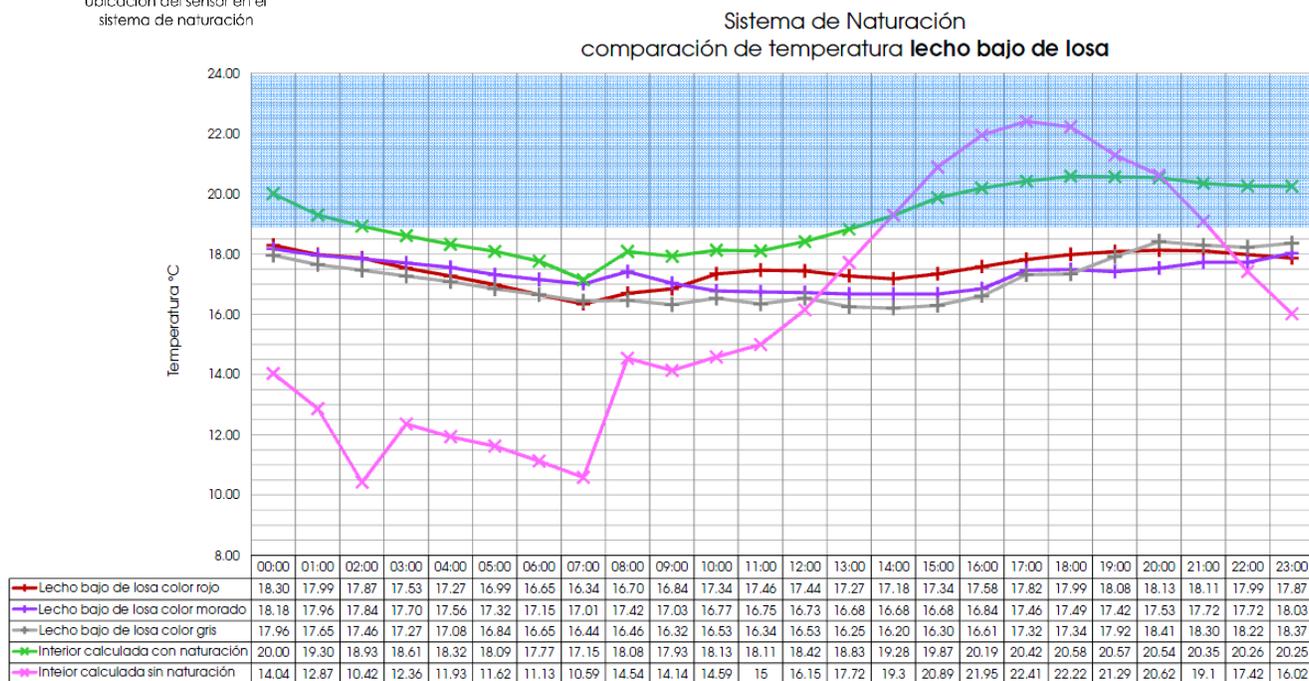


Diagrama 13 . Diferencia en °C lecho alto de losa en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.5 Enero: desempeño térmico lecho bajo de losa.



Gráfica 23 . Gráfica desempeño térmico lecho bajo de losa en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse,

En esta sección del sistema los registros muestran temperaturas un poco más elevadas (en relación a los datos registrados en las otras partes del sistema), más cercanas al rango de confort. Se observa que la regulación térmica es mucho mayor durante el día, haciendo que la fluctuación total diaria de las distintas especies oscile entre los 1.5 °C y 2.21 °C.

Lecho bajo de losa	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	1.95
Color de vegetación Morado	1.5
Color de vegetación Gris	2.21

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	18.30
Color de vegetación Morado	18.18
Color de vegetación Gris	18.41

Tabla 19. Datos de registros en lecho bajo de losa en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse. México 2011.

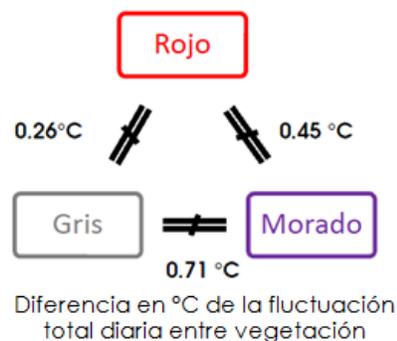
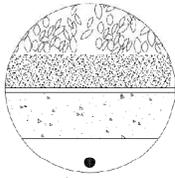


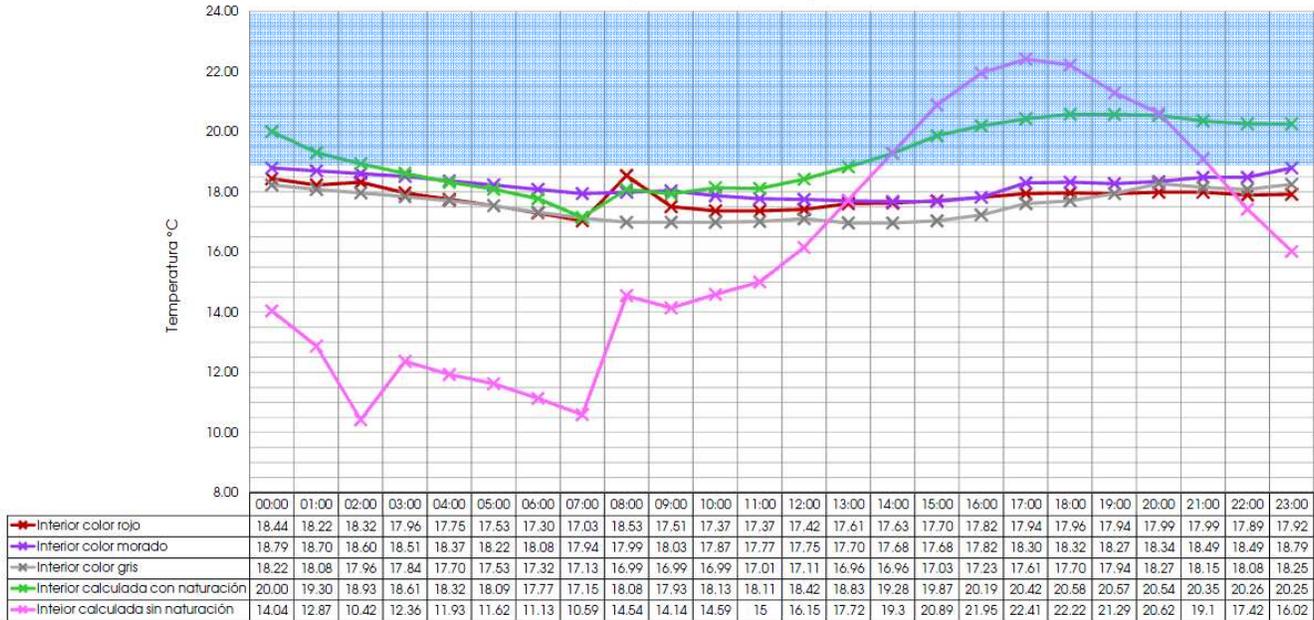
Diagrama 14 . Diferencia en °C en lecho bajo de losa enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.6 Enero: desempeño térmico interior.

Sistema de Naturación comparación de temperatura interior



Gráfica 24 . Gráfica desempeño térmico al interior del espacio en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Los registros de temperatura interior muestran que el sistema de naturación dota al espacio de una gran regulación térmica en comparación de los datos arrojados en cálculo térmico sin sistema de naturación en la cubierta. Se observa que existe una estabilidad térmica al interior en todas las secciones de vegetación, siendo la de color morado (*Secretasea purpurea*) la que se desempeña mejor térmicamente.

Interior	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	1.5
Color de vegetación Morado	1.12
Color de vegetación Gris	1.31

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	18.53
Color de vegetación Morado	18.80
Color de vegetación Gris	18.27

Tabla 20. Datos de registros al interior del espacio en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

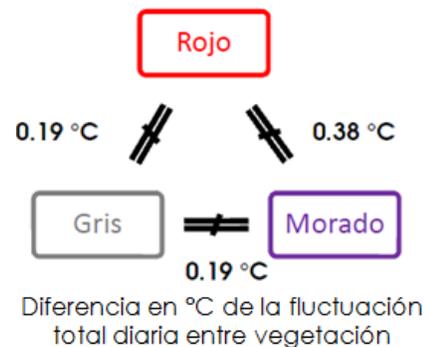
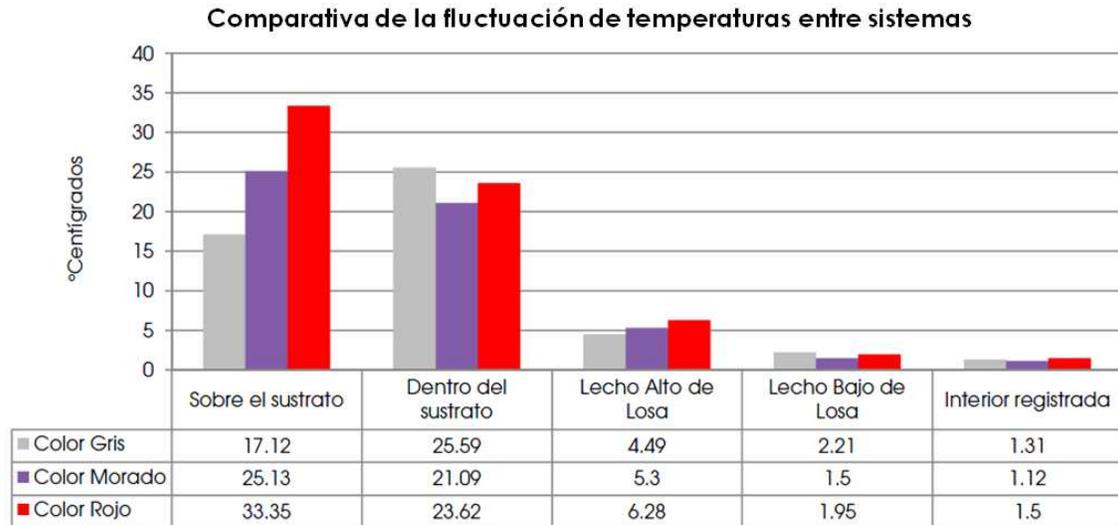


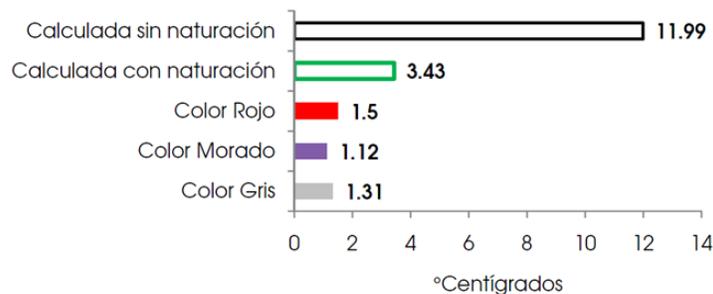
Diagrama 15 . Diferencia en °C al interior del espacio en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



**Gráfica 25** . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica diaria de los sistemas en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

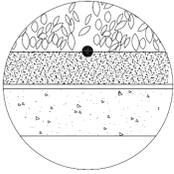
En la gráfica 25 se muestra una tendencia muy marcada del desempeño térmico de cada uno de los sistemas según el color de su vegetación y la fluctuación total diaria en las diferentes posiciones de sensores en el sistema de naturación. El sistema con la especie *Sedum rubrotinctum* de color rojo es el que tiene un desempeño más deficiente en comparación con los demás, sigue un descenso constante de temperatura según el estrato donde se encuentre el sensor. El sistema con la especie *Sencio cineraria* de color gris es el más irregular de forma general, en algunas partes del sistema es el que registra menor temperatura, como en la posición sobre el sustrato y en el lecho alto de losa, mientras que en otras muestra las temperaturas más altas, como dentro del sustrato y en el lecho bajo de losa. El sistema con la especie *Secretasea purpurea* de color morado es el que muestra el mejor desempeño térmico, es constante en el descenso de la temperatura en todo el sistema. En el Anexo 1 se muestran las gráficas y tablas de los resultados del cálculo térmico realizado en los tres sistemas de naturación con las distintas especies vegetales para el mes de enero.

**Fluctuación de temperatura interior**



**Gráfica 26** . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en la temperatura interior de los sistemas en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

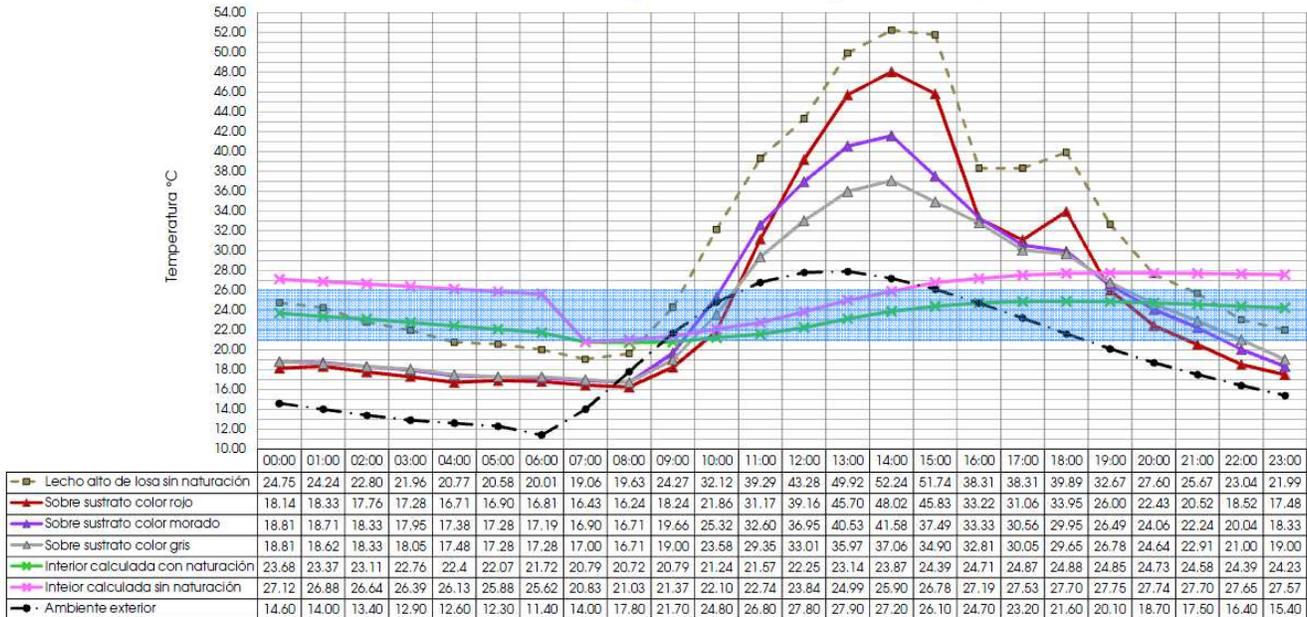
Es evidente el efecto de regulación térmica que brinda el uso de cubiertas naturadas al interior de los espacios, en la gráfica 26 muestra de forma muy simplificada los datos que apoyan esta afirmación, mostrando las fluctuaciones diarias al interior del espacio de los diferentes sistemas y siendo comparadas con los resultados del cálculo térmico sin y con naturación. Habiendo una diferencia de más de 10.8 °C entre el sistemas más eficiente (color morado) y un espacio sin ningún sistema de naturación.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.7 Junio: desempeño térmico sobre el sustrato.

Sistema de Naturación comparación de temperatura sobre el sustrato



Gráfica 27 . Gráfica desempeño térmico sobre el sustrato en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Durante las primeras horas del día el desempeño del sistema de naturación en las tres especies vegetales es muy parecido, es hasta las 10:00 h donde comienza a variar dicho desempeño, siendo las 14:00 h donde se registra la mayor diferencia térmica entre ellas; se observa que aún en esta hora del día el registro de la cubierta con la especie *Sedum rubrotinctum* de color rojo que es la más desfavorable, en comparación con las otras dos especies, es mejor que el obtenido en el lecho alto de losa sin naturación, habiendo una diferencia de más de 4 °C. La zona con vegetación de color gris (*Sencio cineraria*) es la que tiene una mayor regulación térmica durante el día en esta posición del sistema.

Sobre el sustrato	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	31.79
Color de vegetación Morado	24.86
Color de vegetación Gris	20.34

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	48.02
Color de vegetación Morado	41.58
Color de vegetación Gris	37.06

Tabla 21. Datos de registros sobre el sustrato en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

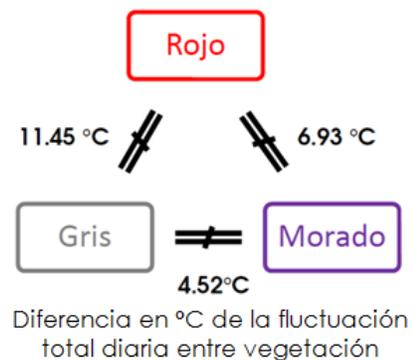
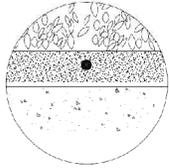
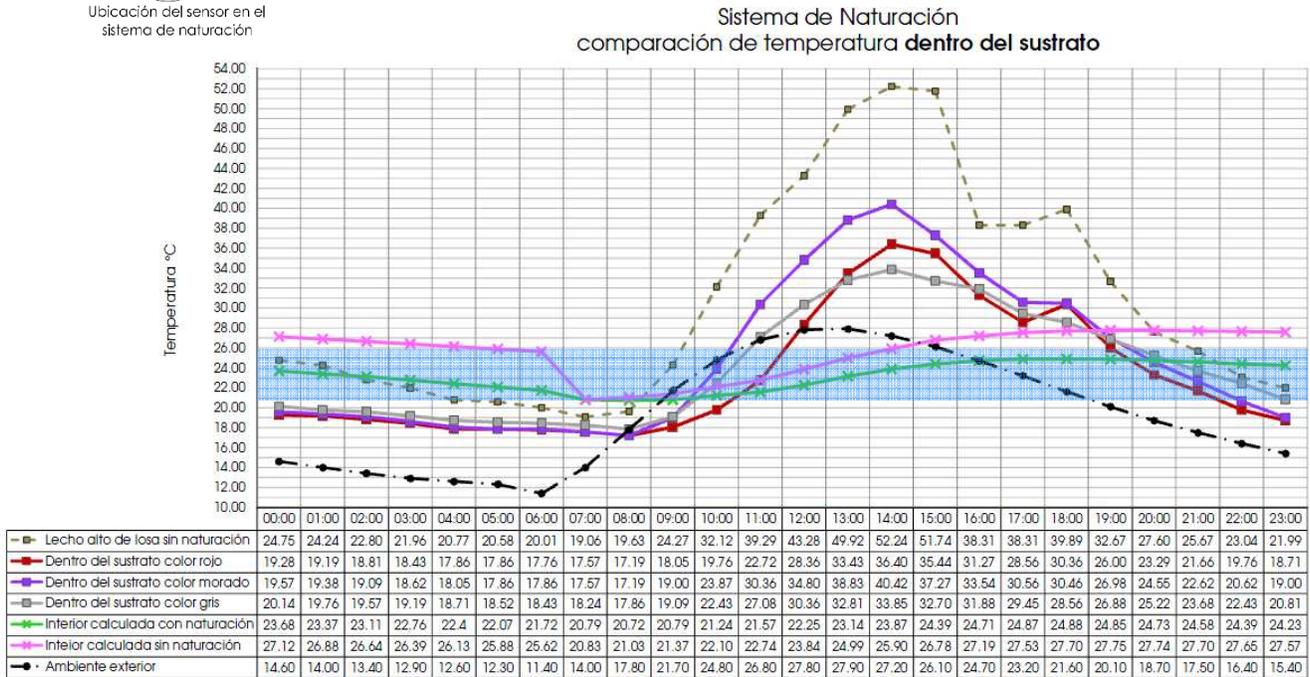


Diagrama 16 . Diferencia en °C sobre el sustrato en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.8 Junio: desempeño térmico dentro del sustrato.



Gráfica 28 . Gráfica desempeño térmico dentro del sustrato en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Existe la misma tendencia térmica en las primeras y en las últimas horas del día. Al igual que en el estrato superior, es entre las 10:00 h hasta las 16:00 h cuando se percibe el efecto térmico de la capa de sustrato, la cual logra un descenso de temperatura notable, principalmente en la zona con la especie *Sedum rubrotinctum* de color rojo, que fue la más desfavorable en el registro de enero. La zona de color gris (*Sencio cineraria*) sigue registrando la mejor regulación térmica mientras que la de color morado (*Secretasea purpurea*) ahora es la más deficiente.

Dentro del sustrato	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	19.21
Color de vegetación Morado	23.23
Color de vegetación Gris	15.99

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	36.40
Color de vegetación Morado	40.42
Color de vegetación Gris	33.85

Tabla 22. Datos de registros dentro del sustrato en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

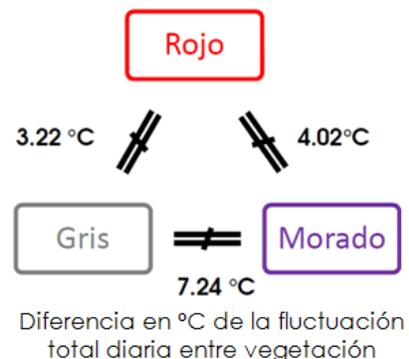
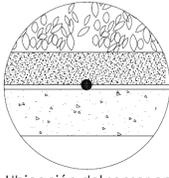
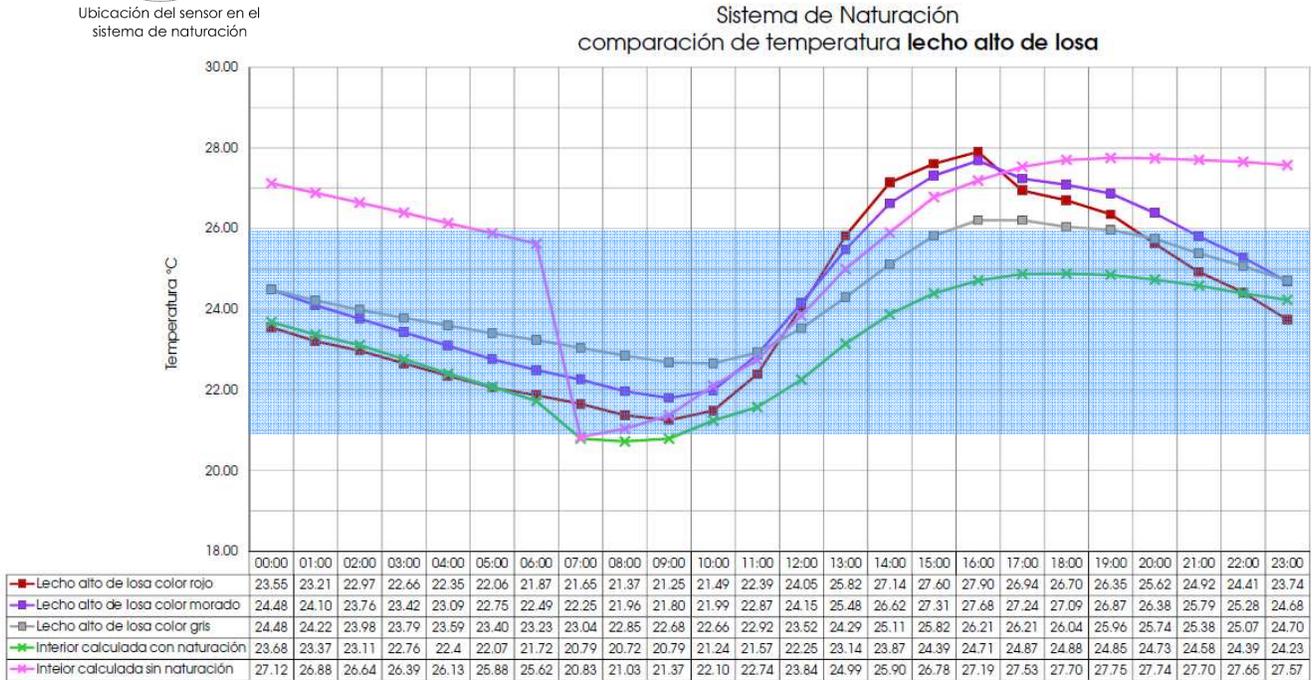


Diagrama 17 . Diferencia en °C dentro del sustrato junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.9 Junio: desempeño térmico lecho alto de losa.



Gráfica 29 . Gráfica desempeño térmico en el lecho alto de losa en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

La mayor parte del tiempo del día los registros se encuentran dentro del rango de confort térmico, excepto de las 14:00 h a las 19:00 h, cuando se registraron temperaturas un poco más altas, las cuales nunca se elevan por más de 2 °C de dicho rango de confort. Las tres zonas de vegetación presentaron la misma tendencia térmica, sigue siendo la zona con la especie *Sencio cineraria* de color gris la que muestra un mejor desempeño térmico, debido a una mayor regulación térmica y menor fluctuación durante el día.

Lecho alto de losa		Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo		6.65
Color de vegetación Morado		5.88
Color de vegetación Gris		3.55

Max temperatura registrada		
Color de vegetación Rojo		27.90
Color de vegetación Morado		27.68
Color de vegetación Gris		26.21

Tabla 23. Datos de registros lecho alto de losa en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

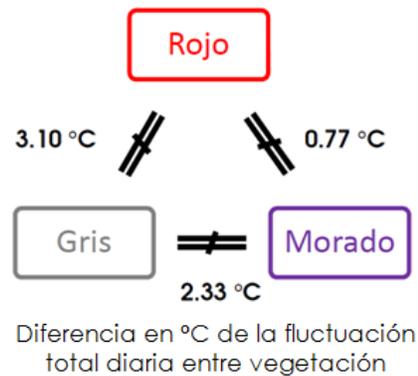
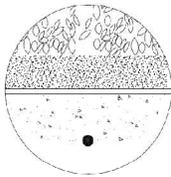


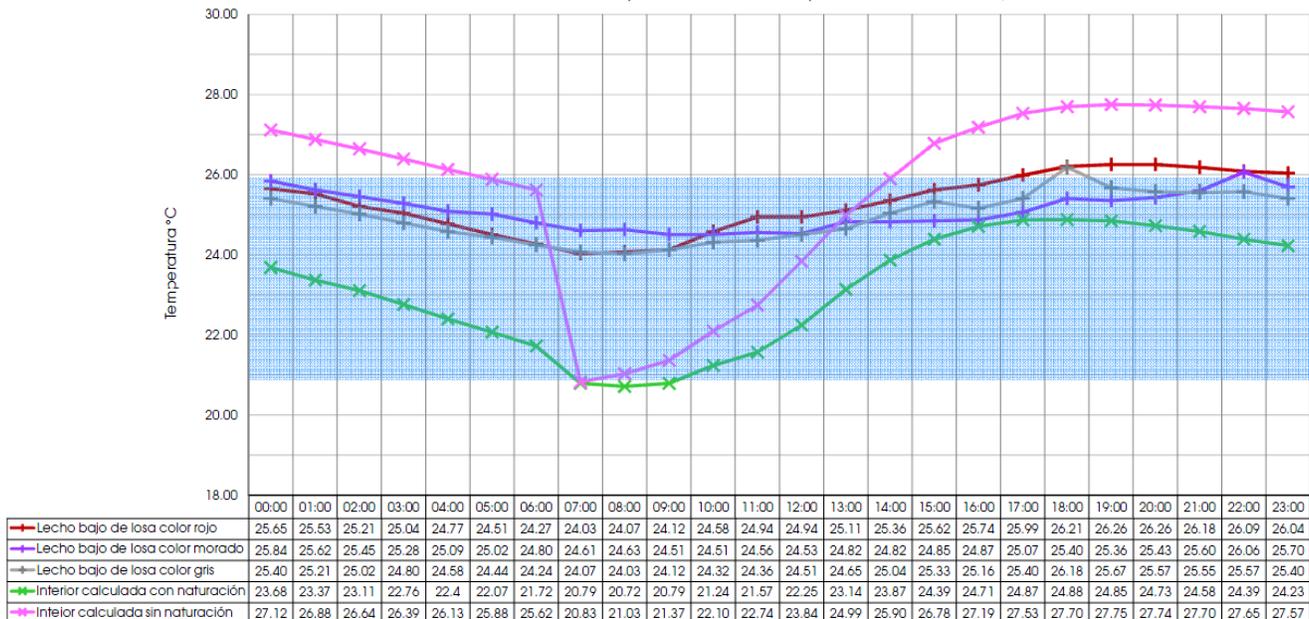
Diagrama 18 . Diferencia en °C lecho alto de losa en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.10 Junio: desempeño térmico lecho bajo de losa.

Sistema de Naturación comparación de temperatura lecho bajo de losa



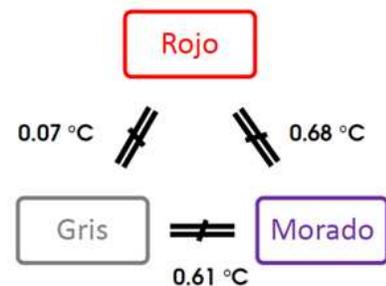
Gráfica 30 . Gráfica desempeño térmico lecho bajo de losa en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

La gráfica 30 muestra que la mayor parte del día los registros de las tres zonas de vegetación se encontraron dentro de la zona de confort, fue solamente unas horas por la tarde cuando el área de color rojo (*Sedum rubrotinctum*) monitorea temperaturas superiores un poco más altas aunque no muy alejadas del rango. En esta parte del sistema la zona de la cubierta que registra un mejor desempeño térmico es la que tiene vegetación de color morado (*Secretasea purpurea*), debido a que registra una menor fluctuación térmica diaria.

Lecho bajo de losa		Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo		2.23
Color de vegetación Morado		1.55
Color de vegetación Gris		2.16

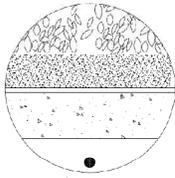
Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	27.26
Color de vegetación Morado	26.06
Color de vegetación Gris	26.18

Tabla 24. Datos de registros en lecho bajo de losa en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Diferencia en °C de la fluctuación total diaria entre vegetación

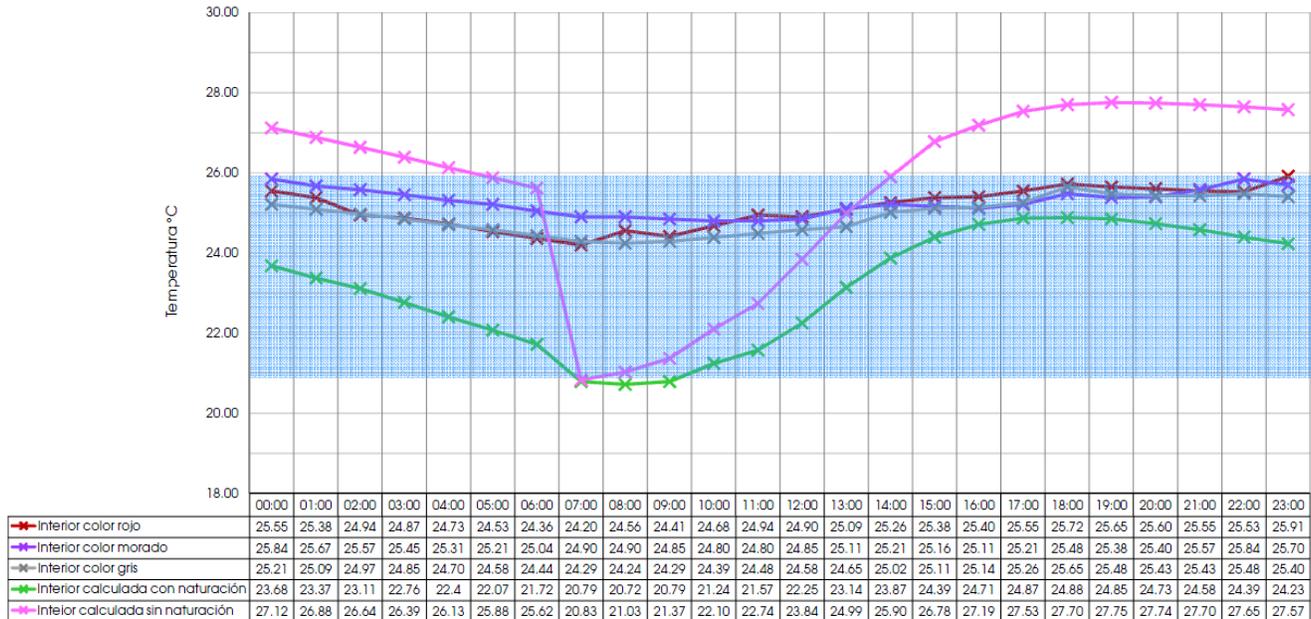
Diagrama 19 . Diferencia en °C en lecho bajo de losa en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



Ubicación del sensor en el sistema de naturación

7.2.11 Junio: desempeño térmico interior.

Sistema de Naturación comparación de temperatura interior



Gráfica 31 . Gráfica desempeño térmico al interior del espacio en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Las temperaturas registradas al interior de las habitaciones de las tres zonas de la cubierta con vegetación se encontraron dentro del rango de confort térmico. Los datos son muy similares en las tres especies vegetales durante todo el día. La zona con vegetación de color morado (*Secretasea purpurea*) es la que muestra un mejor desempeño térmico, su fluctuación térmica diaria es la menor de las tres, lo cual hace que genere una mayor regulación térmica al interior. La zona de color rojo (*Sedum rubrotinctum*) es la más desfavorecida alcanzando una diferencia de 0.68 °C con la de mejor rendimiento.

Interior	Fluctuación diaria
Color de vegetación Rojo	1.72
Color de vegetación Morado	1.04
Color de vegetación Gris	1.40

Max temperatura registrada	
Color de vegetación Rojo	25.91
Color de vegetación Morado	25.84
Color de vegetación Gris	25.65

Tabla 25. Datos de registros al interior del espacio en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

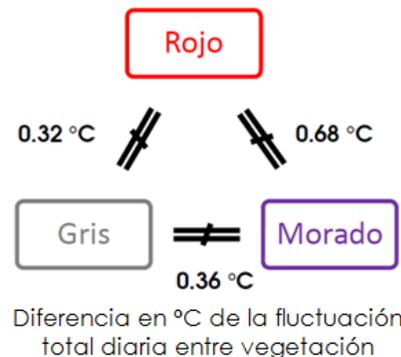
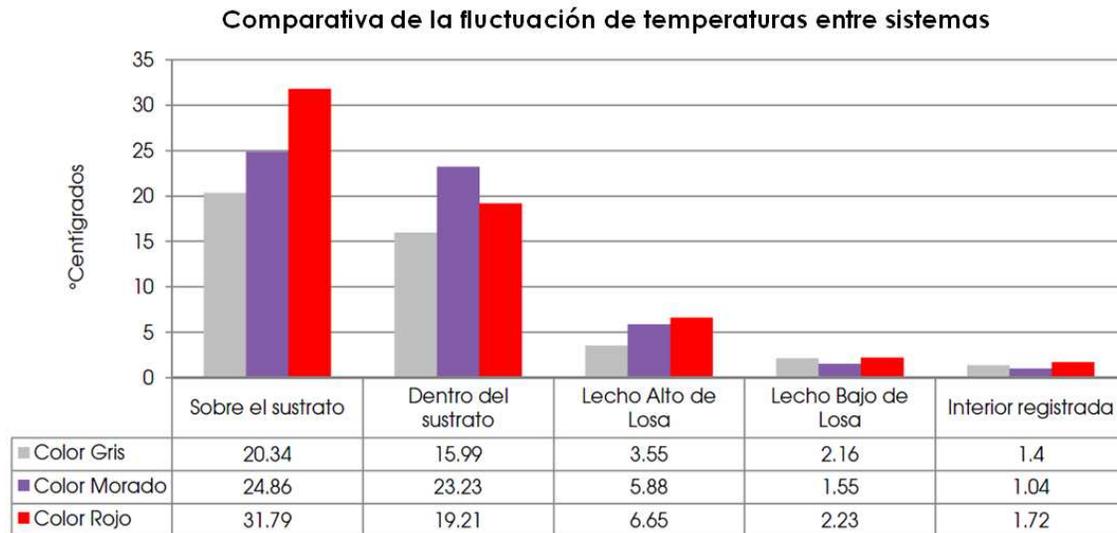
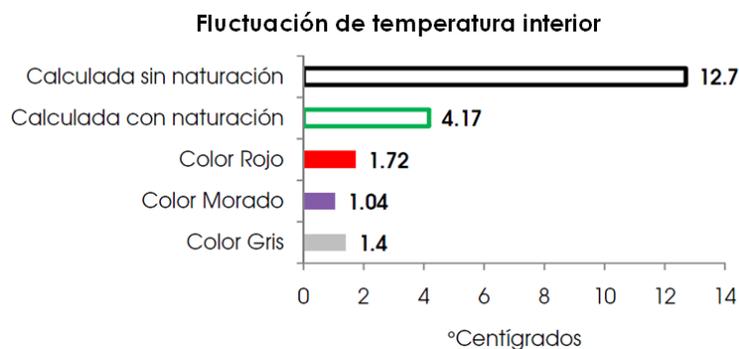


Diagrama 20 . Diferencia en °C al interior del espacio en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



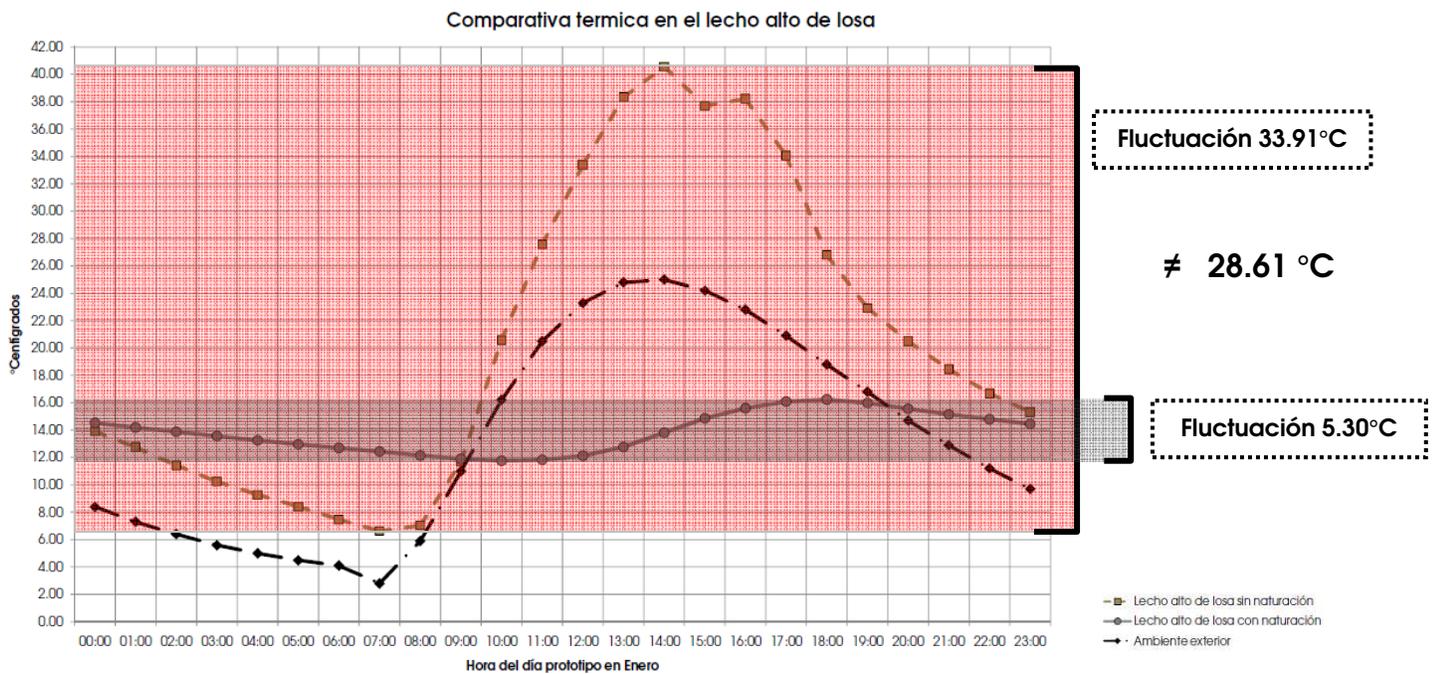
**Gráfica 32.** Gráfica comparativa de la fluctuación térmica diaria de los sistemas en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

En la gráfica 32 se observa que los tres sistemas mostraron un descenso continuo en cada sección del sistema a diferencia de los cambios que ocurrían en el mes de enero. El sistema de color rojo (*Sedum rubrotinctum*) es el que tuvo el peor desempeño, registrando las mayores fluctuaciones en todas las partes del sistema (lo mismo que le sucedió en el mes de enero). El sistema de color gris (*Sencio cineraria*) registró las menores fluctuaciones en el sistema, excepto en el lecho bajo de losa y la temperatura en el interior de espacio donde es menor el registro del sistema con la especie *Secretasea purpurea* de color morado. En el Anexo 2 se muestran las gráficas y tablas de los resultados del cálculo térmico realizado en los tres sistemas de naturación con las distintas especies vegetales para el mes de junio.



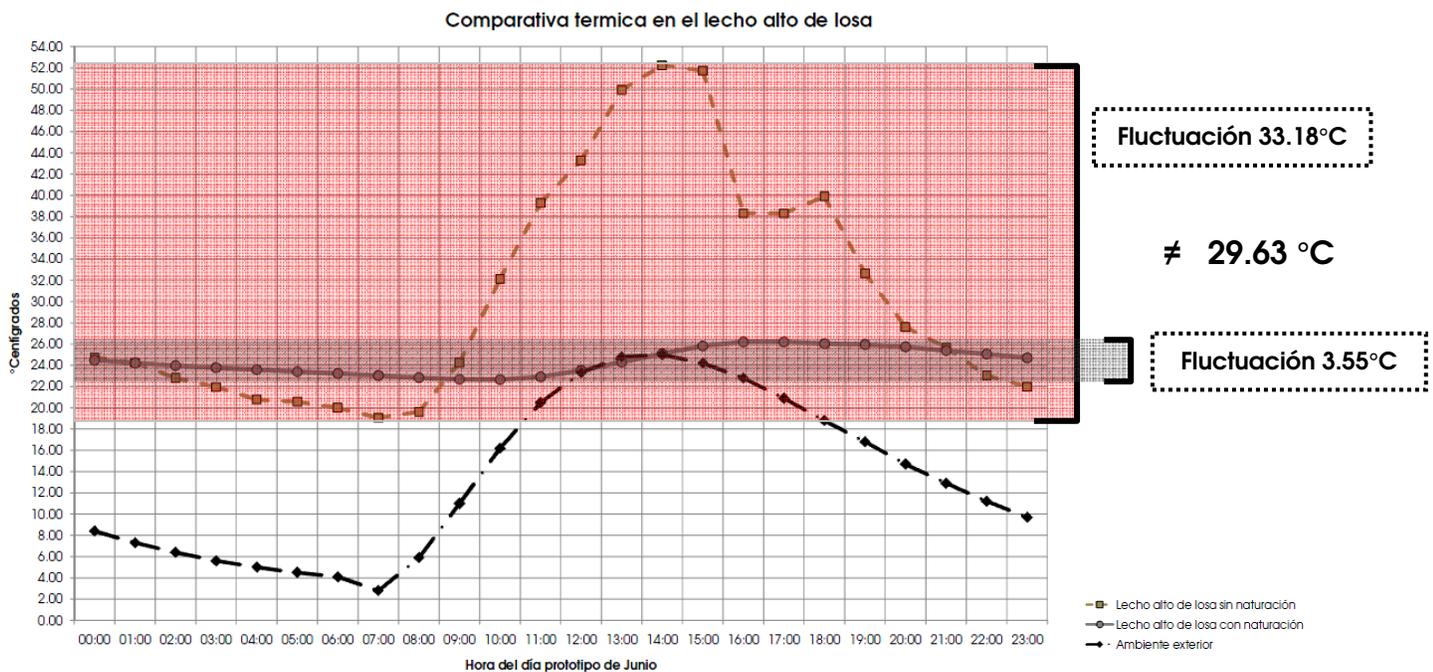
**Gráfica 33.** Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en la temperatura interior de los sistemas en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Se observa nuevamente la diferencia térmica que existe entre el sistema más eficiente en la gráfica 33. Éste es el de color morado (*Secretasea purpurea*), con una sola fluctuación total diaria de 1.04 °C, mientras que el calculado sin naturación al interior de los espacios registró más de 11.6 °C.

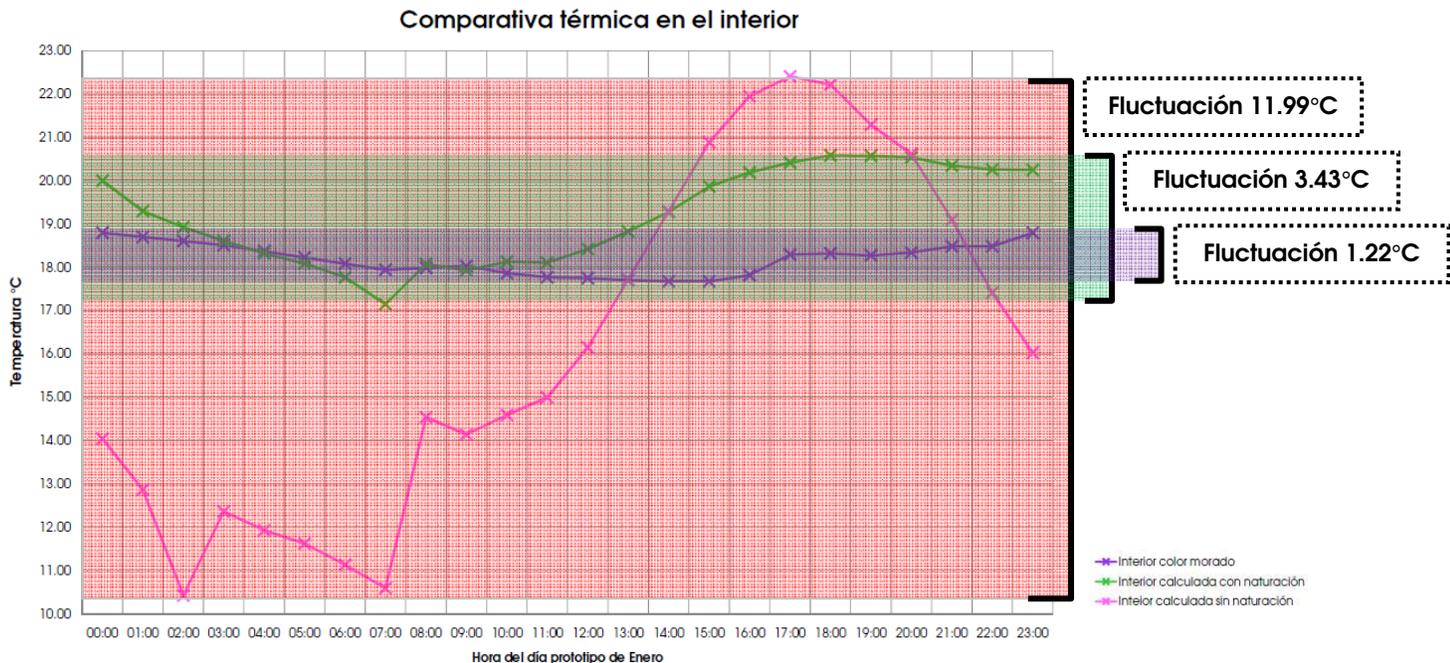


**Gráfica 34.** Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el lecho alto de losa en el mes de enero.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

La diferencia de temperatura con y sin el uso del sistema de naturación en el lecho alto de losa (con la especie que mejor desempeño tuvo: *Sencio cineraria* la de color gris), es de más de 28.6 °C de fluctuación total diaria en el mes de enero, y de 29.63 °C para el mes de junio.

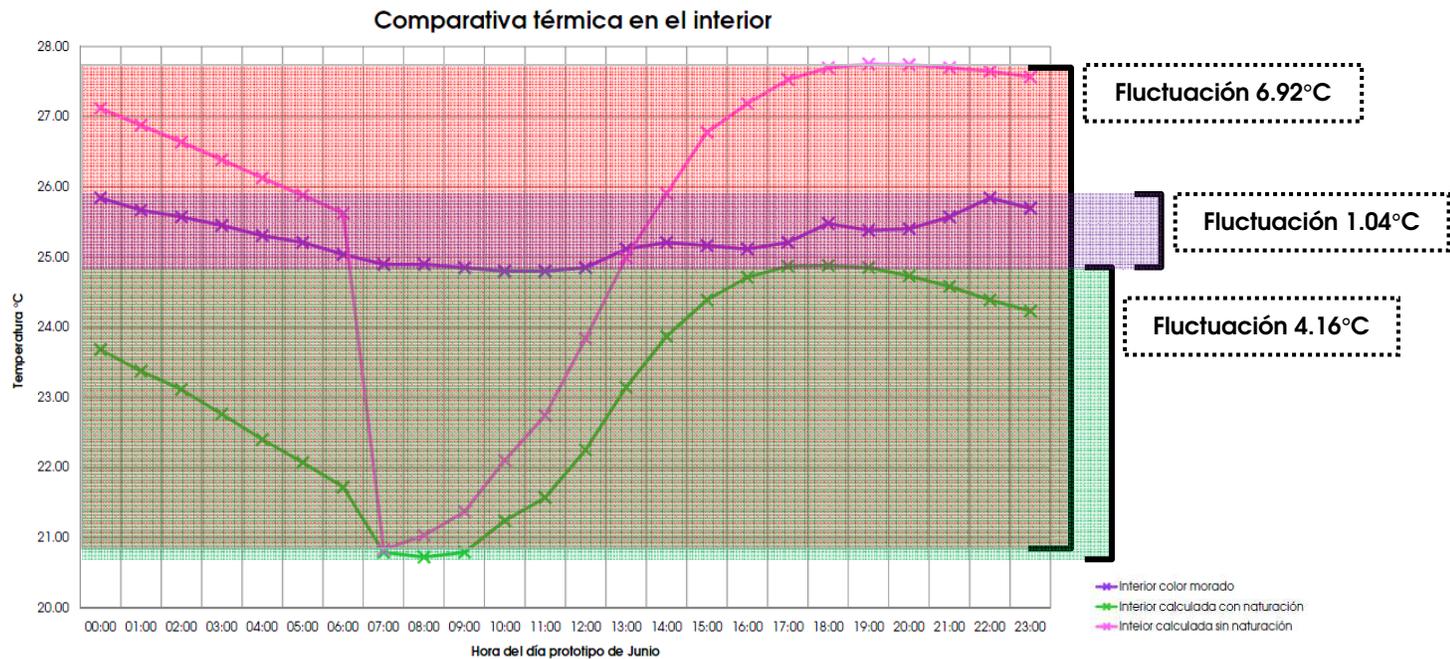


**Gráfica 35.** Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el lecho alto de losa en el mes de junio.  
Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.



**Gráfica 36** . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el interior de la edificación para el mes de enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Los registros al interior de la habitación con el sistema de naturación más eficiente (aquel con la especie *Secretasea purpurea* de color morado), comparados con los resultados del cálculo térmico sin sistema de naturación en la cubierta, muestran que hay una diferencia de 10.77 °C para el mes de enero y de 5.88 °C para el mes de junio.



**Gráfica 37** . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el interior de la edificación para el mes de junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

## CONCLUSIONES.....

Es de gran importancia destacar que la naturación ha estado presente dentro de la arquitectura como un elemento que vincula y hace posible que exista una mejor y mayor relación entre el objeto arquitectónico y el ambiente, logrando como pieza clave que la arquitectura dialogue principalmente por medio de su envolvente con el entorno, reconociendo al entorno no solamente como el ambiente natural donde se genera el objeto arquitectónico, sino también como el contexto social, cultural, económico y psicológico donde se desarrolla. Este dialogo se ve más fracturado en las zonas urbanas que en las rurales, especialmente en las áreas donde el crecimiento demográfico se ha presentado de una forma desmesurada, lo cual afecta y modifica de una forma agresiva y a gran escala la estructura y funciones básicas de las ciudades, teniendo como consecuencia zonas urbanas con grandes problemas ambientales, sociales, económicos, psicológicos, etc., por ello es importante retomar el uso de la naturación como uno de los elementos constructivos benéficos para urbes.

La naturación surge como una técnica tradicional constructiva en distintas partes del planeta, en todo tipo de regiones y de climas, manteniendo una estructura similar en elementos que la componen y en funciones, pero con el uso de una gran diversidad de materiales dependiendo la disponibilidad de cada uno de ellos según la región donde se encuentran.

La técnica tradicional fue evolucionando a través del tiempo, debido a los cambios y desarrollo de los materiales de construcción y a las nuevas percepciones y conceptos de la arquitectura; claro está que hubo momentos dentro del desarrollo de ciudades en donde no fue utilizada debido a su desconocimiento, pero ahora en las últimas décadas ha retomado su uso e importancia debido a las nuevas tendencias arquitectónicas, pero sobre todo por los grandes beneficios que brinda su uso. Esta evolución dentro de los sistemas de naturación fue en mayor medida gracias a estudios científicos sobre su desempeño, sus componentes, sus funciones y sobre los materiales que los conforman. Poco a poco estas investigaciones lograron que se modificara la técnica constructiva para llegar a ser una tecnología constructiva, ya que se conoció a detalle el comportamiento de los sistemas de naturación, por medio de su conocimiento operativo, lo que logro hacerlos más eficientes, optimizar su funcionamiento y maximizar sus beneficios; además de hacer más eficaces los métodos y procedimientos constructivos a través del uso de mejores materiales.

Existen diferentes tipos de beneficios del uso de sistemas de naturación, por ello se han clasificado de acuerdo al tema sobre el cual actúa, por ejemplo temas ambientales, económicos, estéticos, psicológicos, constructivos, etc., según la escala en que se analicen, ya sean a nivel arquitectónico o urbano y de acuerdo a la posesión del beneficio, si es público o privado.

Es contrastante el uso de los sistemas de naturación en Europa con el de nuestro país, siendo Alemania el mayor desarrollador, promotor y demandante de cubiertas verdes, donde se cuantifican más de 15 millones de metros cuadrados de sistemas de naturación, mientras que en México solamente existen de 10,000 a 11,000 m<sup>2</sup>, de los cuales 90% se encuentran en la Ciudad de México. A nivel América Latina, México es el principal promotor y usuario de cubiertas verdes (TOVAR, FIGUEROA y GORDON 2010).

Siendo la Ciudad de México una de las más contaminadas del planeta, es necesario que en ella se implementen elementos, sistemas, técnicas, tecnologías, equipos, etc., que no causen o minimicen su impacto negativo en el entorno y que disminuyan la contaminación, y que mejor realizarlo por medio de un bien público, como lo son los sistemas de naturación, que además generan externalidades ambientales positivas que brindan más y mejores beneficios a la ciudadanía.

El mejoramiento ambiental de las ciudades, brinda económicamente muchos beneficios, entre los cuales destaca el mejoramiento de la salud de las personas que viven en las zonas urbanas, disminuyendo casos de enfermedad, el uso de servicios médicos e inasistencia a los lugares de trabajo, lo que genera un equilibrio económico-laboral. Pero no solo reduce enfermedades, sino que también genera que se realicen de nuevo algunos ciclos naturales de forma normal, además crea condiciones de confort que mejoran el desempeño y rendimiento en los centros de trabajo y mejores condiciones físicas y psicológicas de las personas.

El panorama de información disponible hoy en día sobre el diseño e instalación de sistemas de naturación es aceptable en forma general, ya que facilita la comprensión del uso, beneficios, requerimientos, composición, mantenimiento, etc. de la naturación en las cubiertas; aunque aún es necesario realizar más investigación para cada región del planeta según sus características específicas.

El desarrollo reciente de investigaciones sobre los sistemas de naturación ha sido muy provechoso dado que existe más entendimiento sobre sus funciones y conocimientos de sus aplicaciones y beneficios, sin embargo aún con la cantidad de estudios realizados sobre estos sistemas en diferentes partes del mundo, es importante reconocer que debido a que se cuenta con un elemento vivo, es difícil reconocer su desempeño dentro del sistema, esto es consecuencia de las características propias de la vegetación, dado que no se comporta de la misma forma en todos los sitios donde se instale, además de que las especies varían de región a región.

La mayoría de las investigaciones realizadas a los sistemas de naturación se han evocado a analizarlo en su totalidad, algunas otras estudiándolos por sus componentes; pero muy escasas son las que han dedicado tiempo a analizar los efectos del elemento vivo, la vegetación, como factor importante dentro del efecto de regulación térmica que provee el sistema a la edificación. Recordemos que la vegetación es el único material del sistema que ejerce una interacción con el ambiente, en tiempo real y se ve modificada a cada momento, es una relación dinámica y cambiante según las condiciones medio ambientales presentes en el lugar. Es necesario estudiar y analizar esta relación tan íntima que existe entre la vegetación y el ambiente para poder conocerla y comprenderla en cada región donde se encuentre, y obtener así las herramientas que permitan la creación de sistemas de naturación más eficaces que ofrezcan mejores y mayores beneficios y disminuyan complicaciones y fallas en la instalación y mantenimiento de los sistemas.

Uno de los beneficios más provechosos del uso de los sistemas de naturación en cubiertas es el efecto de regulación térmica que genera en las construcciones, los resultados de los dos modelos utilizados en la presente investigación, tanto los del modelo matemático como los del modelo experimental, revelan con datos concretos esta afirmación.

Este efecto se ve determinado de acuerdo al sistema de naturación utilizado, en especial al tipo de materiales seleccionados, al tipo y espesor de la capa de sustrato y a las especies vegetales elegidas.

El efecto de reducción y regulación térmica que confiere la capa sustrato a todo el sistema es el de gran consideración, según los datos arrojados en el presente estudio por el modelo experimental, se encontró que el promedio de la reducción térmica medida de la fluctuación total diaria de la temperatura dentro y debajo del sustrato (en el lecho alto de losa), en los tres distintos tipos de vegetación es de 18.08 °C para el mes de enero y de 14.12 °C para el mes de junio. Hablamos del promedio, dado que no es la misma reducción para los tres sistemas monitoreados, recordemos que aunque se utilizó el mismo tipo de sustrato para las tres secciones (ver página 78), se han tenido cambios debido al distinto tipo de vegetación, ya que cada especie vegetal necesita cubrir diferentes tipos de necesidades por medio del sustrato (cantidad de humedad, nutrientes, aeración, etc.), estos cambios también se ven afectados por las condiciones ambientales presentes (radiación solar, lluvias, granizo, viento, etc.) y por su ubicación dentro de la cubierta, ya que la cubierta cuenta con una inclinación que en época de lluvias puede permitir el deslave del sustrato a las partes más bajas y cambiar el espesor uniforme de los sistemas, estos tres factores modifican algunos de los parámetros físico del sustrato, entre ellos: textura, estructura, porosidad, humedad, capacidad de campo, permeabilidad, y drenaje. Una limitante de los sistemas de naturación extensiva en cuanto al sustrato es el tamaño de su espesor (ver tabla 1), esto debido al peso que debe soportar la estructura de las edificaciones y también por el tipo de vegetación que se utiliza en el sistema, por lo que la capa de sustrato no debe superar el tamaño de grosor, por lo tanto no puede utilizarse el aumento de su volumen como elemento de masa térmica para hacer más elevado el efecto térmico del sistema de naturación.

El componente clave para los sistemas de naturación es su elemento vivo: la vegetación; el único elemento biótico, que responde y cambia en tiempo real a las condiciones ambientales presentes a comparación de los demás componentes inertes y estáticos del sistema; brinda grandes beneficios de todo tipo, tanto ambientales, económicos, sociales, psicológicos, etc., a gran escala, privados como públicos, que se traducen en externalidades positivas dentro de las áreas habitadas.

Por medio del estudio y análisis de los sistemas de naturación extensiva realizado durante esta investigación, principalmente de los modelos analizados, el matemático y el experimental, se ha comprobado que la vegetación modifica el desempeño térmico de la cubierta naturada. Hay características de la vegetación que intervienen en el desempeño térmico de la cubierta, entre ellas destacan las características físicas: color, altura, espesor de la hoja, índice de área foliar; sus propiedades ópticas: absorción, emisión, reflectancia y albedo; y las propiedades higrótérmicas: calor específico, resistencia estomática, evapotranspiración y conductividad térmica.

La selección de especies vegetales para crear la paleta vegetal en el diseño de un sistema de naturación extensiva tendrá en cuenta los requerimientos que este tipo de naturación demanda, responderá a las condiciones ambientales de la zona, a las características de la construcción, a las necesidades y peticiones de diseño arquitectónico, térmico y paisajístico.

Los resultados de análisis de esta investigación validan la hipótesis principal de la investigación, pues se comprobó que existen especies vegetales que mejoran el desempeño térmico en los sistemas de naturación en las cubiertas de las edificaciones, las cuales generan mejores condiciones de confort térmico al interior de los espacios; en el modelo de estudio analizado la especie vegetal que mejoró el desempeño térmico de la cubierta del departamento fue la *Secretasea purpurea*, llamada comúnmente Niña en Barco, de color morado, donde la diferencia existente de fluctuación total diaria entre

ella y las otras dos especies monitoreadas al interior de los espacios fue de 0.2 °C con la *Sencio cineraria* de color gris y de 0.4 °C con la *Sedum rubrotinctum* de color rojo en el mes de enero y para el mes de junio una diferencia de 0.4 °C con la especie de color gris y de 0.7 °C con la de color rojo.

Estas diferencias en el desempeño térmico de los tres sistemas, se deben a las características específicas de cada especie vegetal (Ver Capítulo 8), las características ópticas muestran que la especie *Secretasea purpurea*, de color morado es la planta que registra mayor absorción (Ver Gráfica 1 Y Tabla 5), dato que tiene relación con el desempeño térmico de la planta en el sistema de naturación. En los resultados de la conductividad térmica medida en laboratorio de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental, mostrados en la gráfica número 3, afirman que la especie *Secretasea purpurea*, es la que cuenta con el mayor porcentaje de reducción térmica.

Durante los dos meses de diseño, el sistema de naturación logra un efecto de regulación térmica (ver capítulo 8). En enero, el mes más frío, actúa como un elemento de aislamiento térmico contra las bajas temperaturas ambientales presentes durante la época de invierno, logrando un ambiente térmico interior mucho más confortable en comparación con el ambiente percibido en esta época por los usuarios del departamento (ver pág. 70), registrando una fluctuación térmica total al interior de 1.12 °C con la especie *Secretasea purpurea* de color morado. Y en el mes de junio, el mes más cálido, produce un efecto considerable de enfriamiento durante las horas que registran mayor temperatura durante el día; al regular la temperatura interior disminuye la fluctuación térmica total diaria, la menor registrada fue de 1.04 °C del sistema con vegetación de color morado (*Secretasea purpurea*), esta regulación térmica brinda mejores condiciones de confort térmico al interior de los espacios para los usuarios.

Como se observa los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio y los resultados de los dos modelos (matemático y experimental), confirman que existen características específicas de la vegetación que intervienen en el desempeño térmico de los sistemas de naturación; por lo tanto es razonable afirmar que puede haber una prefiguración de los sistemas de naturación que actúan de forma eficaz térmicamente en las edificaciones.

Es importante mencionar que la vegetación presente en el modelo experimental aún no cubre en su totalidad el área destinada para tal uso, por lo tanto los datos expuestos revelan el funcionamiento y efecto en forma general pero serán mucho más precisos y será mayor el efecto de regulación térmica cuando las especies cubran completamente el área de la cubierta.

Es necesario realizar este tipo de investigaciones con una paleta vegetal más amplia, en distintos tipos de regiones y climas. Una forma de hacer investigación comparativa de la vegetación es seleccionar especies de estructura física similar (forma, dimensiones, etc.), mismo tono de color, y distinto metabolismo; para poder así lograr hacer comparativa biológica-térmica de las especies vegetales, y obtener más datos sobre las características que puedan hacer aun más eficientes térmicamente los sistemas de naturación.

Una adecuada selección de especies vegetales determinará el mejor desarrollo y obtención de mayores beneficios de los sistemas de naturación, adicionalmente facilitará el cálculo térmico y su predicción, lo que brindará más posibilidades dentro del proceso de diseño y cálculo en cubiertas naturadas.

Otra línea de investigación a seguir es el estudio de la capa de sustrato, debido a que es un material con grandes cualidades térmicas; investigando sobre distintas mezclas que permitan un buen desarrollo vegetal, un drenaje óptimo, un color adecuado y un peso ligero. A partir de estos estudios se obtendrán mejoras a los sistemas de naturación, tanto en la selección de especies a elegir, en la capacidad de retención de agua y en la amplitud de estructuras donde puede ser implementado estos sistemas.

Es necesario que la incorporación de los sistemas de naturación como elemento arquitectónico no sea de forma imprevista y comercial, como se ha visto en los últimos años, tendencia mostrada por las grandes estrategias comerciales de venta, que sólo persiguen un bien económico empresarial con la incorporación y venta de productos "sustentables" al mercado, que no contemplan en ningunos de sus procesos de producción la visión en beneficio del ambiente; por lo tanto es muy importante que el cliente-usuario pueda distinguir y exigir productos y servicios que verdaderamente muestren beneficios y no generen problemas ambientales más graves.

Debe crearse y asumirse una cultura ecológica en la población por medio de la presentación y difusión de los temas de estudio e investigación realizados en el país, para que las personas tengan acceso a ellos y pueda discernir los productos y acciones en mejora del medio ambiente, entre ellos la implementación de los sistemas de naturación a las edificaciones.

Cada una de las persona desde su ámbito de acción estamos obligados a intervenir en pro de nuestro entorno, siempre buscando el bienestar común y así conseguir el propio, tratando de rescatar e incrementando los valores de la cultura ambiental, siendo capaces de entender y revitalizar los espacios presentes para generar lugares futuros.

La naturaleza debe penetrar de nuevo en la vida citadina y sustituir las creaciones de concreto y asfalto por un espacio de verdor... la naturaleza es un elemento de defensa que debe buscar el hombre contra las agresiones de la ciudad.

## Glosario.....

Aislamiento: Sistema o dispositivo que impide la transmisión de la electricidad, el calor, el sonido, etc.

Albedo: Relación expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja comparada con la radiación que incide sobre la misma.

Bien público: Bien cuyos beneficios se reparten de manera indivisible entre toda la comunidad, independientemente de que determinadas personas deseen o no consumirlo.

Biodiversidad: Variedad de especies animales y vegetales en su medio ambiente.

Biotopo: *Biol.* Territorio o espacio vital cuyas condiciones ambientales son las adecuadas para que en él se desarrolle una determinada comunidad de seres vivos.

Calor específico: *Fís.* Cantidad de calor que por unidad de masa necesita una sustancia para que su temperatura se eleve un grado centígrado.

Condensación: Acción y efecto de condensar. Convertir un vapor en líquido o en sólido.

Conductividad térmica: *Fís.* Propiedad que tienen los cuerpos de transmitir el calor

dB Decibelio: *Fís.* Unidad empleada para expresar la relación entre dos potencias eléctricas o acústicas; es diez veces el logaritmo decimal de su relación numérica.

Densidad: *Fís.* Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ).

Demanda: Relación ente la cantidad de un bien o servicio que estarán dispuestos a comprar lo consumidores a los distintos precios, dados la renta con la que cuentan, los precios de los otros bienes sustitutivos o complementarios y sus gustos.

Dosel: *Biol.* Capa aérea vegetal, formada por el follaje.

Economía Ambiental: Disciplina que aborda los problemas de gestión de la naturaleza como externalidades a valorar desde el instrumental analítico de la economía ordinaria, que razona en términos de precios, costos y beneficios monetarios reales o simulados.

Edafológico: Relativo a la ciencia que trata de la naturaleza y condiciones del suelo, en su relación con las plantas.

Endémica: *Biol.* Propio y exclusivo de determinadas localidades o regiones.

Escorrentía: f. Agua de lluvia que corre por la superficie de un terreno.

Evapotranspiración: Pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Se expresa en mm por unidad de tiempo.

Externalidad: Todo efecto involuntario en el bienestar de las personas y empresas, sin que éste paguen por ellas o sean compensados. Se denomina positiva, cuando benefician a otros, y negativa cuando los perjudican.

Fluctuación: Diferencia entre el valores.

Geosintético: Es el término utilizado para describir una variedad de polímeros en general.

Hábitat: *Ecol.* Lugar de condiciones apropiadas para que viva un organismo, especie o comunidad animal o vegetal.

Índice de área foliar: Área total de la superficie superior de las hojas por área de unidad de terreno que se encuentre directamente debajo de la planta.

Inerte: Sin vida.

Intemperie: A cielo descubierto, sin techo ni otro reparo alguno.

Isla de calor: El efecto de isla de calor urbano es el aumento de la temperatura en zonas urbanas y suburbanas, en relación con los alrededores.

Lixiviado: Es el líquido producido cuando el agua fluye a través de cualquier material permeable

Morfología: Es la disciplina encargada del estudio de la forma y estructura de un organismo o sistema

Naturación: Es el tratamiento técnico de superficies verticales, horizontales e inclinadas con vegetación.

Oferta: Relación existente entre la cantidad de un bien o servicio que los productores están dispuestos a ofrecer a cada uno de sus distintos precios cuando los costes de producción se mantienen constantes.

Parámetro: m. Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.

Perenne: *Bot.* Que vive más de dos años

Permeabilidad: adj. Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.

Precio: *Econ.* Utilidad de un bien para satisfacer unas necesidades.

Punzonamiento: Es un esfuerzo producido por un efecto puntual sobre un plano de apoyo.

Radicular: adj. Perteneciente o relativo a las raíces.

Resistencia estomática: Parámetro biofísico que determina el ritmo al cual la planta puede transpirar humedad a través de sus hojas por una condición ambiental dada.

Rocío: m. Vapor que con la frialdad de la noche se condensa en la atmósfera en muy menudas gotas, las cuales aparecen luego sobre la superficie de la tierra o sobre las plantas.

Servicio ambiental: Son las aquellas actividades, productos y procesos que la naturaleza proporciona y que posibilitan que la vida pueda desarrollarse sin mayores costos para la humanidad.

Sistema radical: Conjunto de raíces de una planta

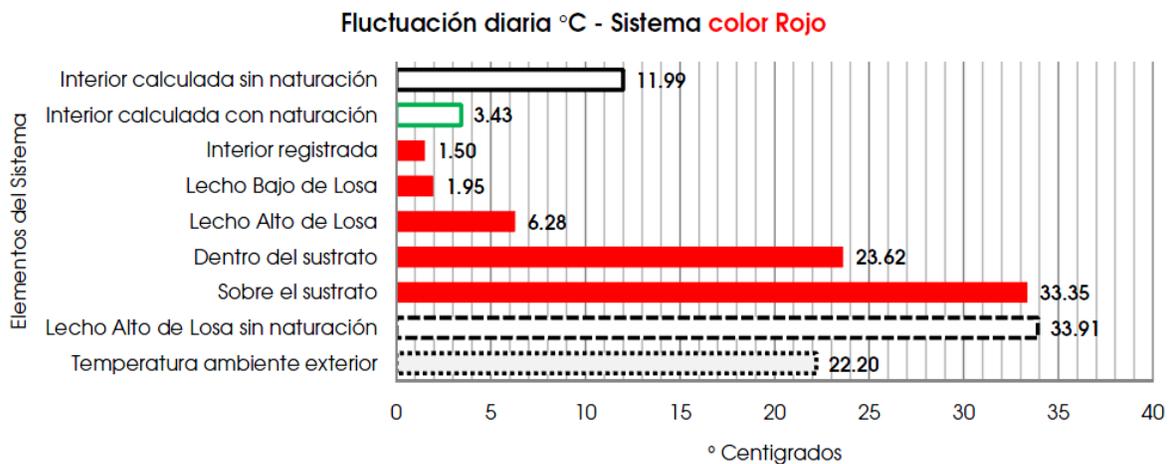
Sustentable: Aquel que satisface las necesidades actuales sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.

Sustrato: *Biol.* Lugar que sirve de asiento a una planta o un animal fijo.

# Anexo 1 .....

## Graficas del desempeño térmico en el mes de enero

### Sistema de color rojo-enero

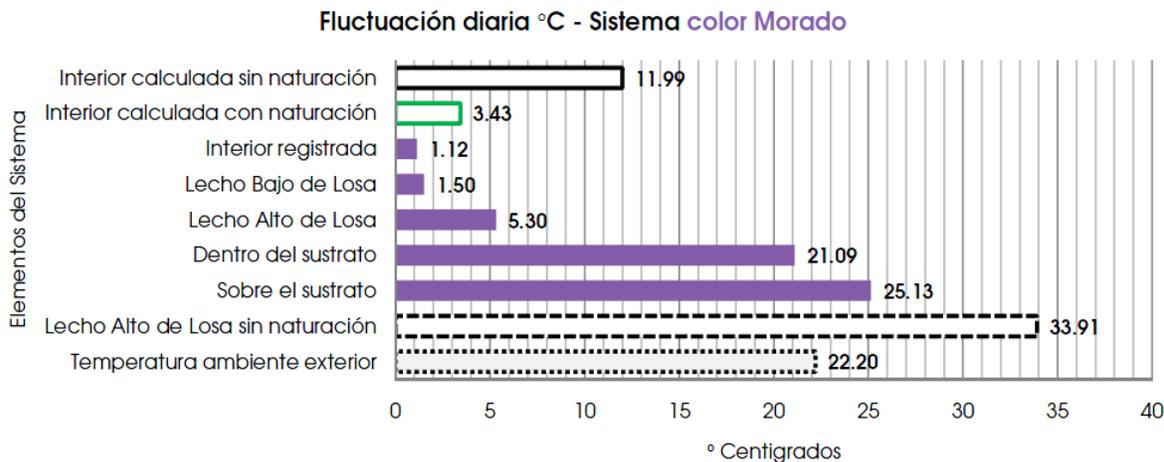


Gráfica 38 . Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

día 21 Enero	Temperatura ambiente exterior	Lecho Alto de Losa sin naturación	Sistema de Naturación Color Rojo					Interior calculada con naturación	Interior calculada sin naturación
			Sobre el sustrato	Dentro del sustrato	Lecho Alto de Losa	Lecho Bajo de Losa	Interior registrada		
12:00:00 a.m.	8.40	13.91	7.78	9.77	14.53	18.30	18.44	20.00	14.04
01:00:00 a.m.	7.30	12.75	6.47	8.68	14.15	17.99	18.22	19.30	12.87
02:00:00 a.m.	6.40	11.42	7.18	8.68	13.76	17.87	18.32	18.93	10.42
03:00:00 a.m.	5.60	10.25	6.17	7.98	13.38	17.53	17.96	18.61	12.36
04:00:00 a.m.	5.00	9.29	5.24	7.28	13.06	17.27	17.75	18.32	11.93
05:00:00 a.m.	4.50	8.42	4.42	6.57	12.78	16.99	17.53	18.09	11.62
06:00:00 a.m.	4.10	7.47	3.68	5.96	12.44	16.65	17.30	17.77	11.13
07:00:00 a.m.	2.80	6.64	3.47	5.66	12.15	16.34	17.03	17.15	10.59
08:00:00 a.m.	5.90	7.04	2.84	5.04	11.86	16.70	18.53	18.08	14.54
09:00:00 a.m.	11.00	11.69	4.52	5.86	11.66	16.84	17.51	17.93	14.14
10:00:00 a.m.	16.20	20.58	6.27	6.88	11.78	17.34	17.37	18.13	14.59
11:00:00 a.m.	20.50	27.58	12.21	9.97	12.24	17.46	17.37	18.11	15.00
12:00:00 p.m.	23.30	33.39	23.48	14.23	13.23	17.44	17.42	18.42	16.15
01:00:00 p.m.	24.80	38.34	28.06	19.19	14.82	17.27	17.61	18.83	17.72
02:00:00 p.m.	25.00	40.54	31.27	23.10	16.42	17.18	17.63	19.28	19.30
03:00:00 p.m.	24.20	37.70	35.76	23.00	17.53	17.34	17.70	19.87	20.89
04:00:00 p.m.	22.80	38.20	36.19	25.32	17.94	17.58	17.82	20.19	21.95
05:00:00 p.m.	20.90	34.05	31.78	28.66	17.84	17.82	17.94	20.42	22.41
06:00:00 p.m.	18.80	26.79	25.81	24.74	17.03	17.99	17.96	20.58	22.22
07:00:00 p.m.	16.80	22.92	18.62	18.62	16.20	18.08	17.94	20.57	21.29
08:00:00 p.m.	14.70	20.48	15.28	15.76	15.56	18.13	17.99	20.54	20.62
09:00:00 p.m.	12.90	18.46	13.08	13.94	15.08	18.11	17.99	20.35	19.10
10:00:00 p.m.	11.20	16.68	11.72	12.69	14.67	17.99	17.89	20.26	17.42
11:00:00 p.m.	9.70	15.32	10.85	12.01	14.31	17.87	17.92	20.25	16.02
Temp. Máx	25.00	40.54	36.19	28.66	17.94	18.30	18.53	20.58	22.41
Temp. Min.	2.80	6.64	2.84	5.04	11.66	16.34	17.03	17.15	10.42
Fluctuación	22.20	33.91	33.35	23.62	6.28	1.95	1.50	3.43	11.99

Tabla 26. Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Sistema de color morado-enero

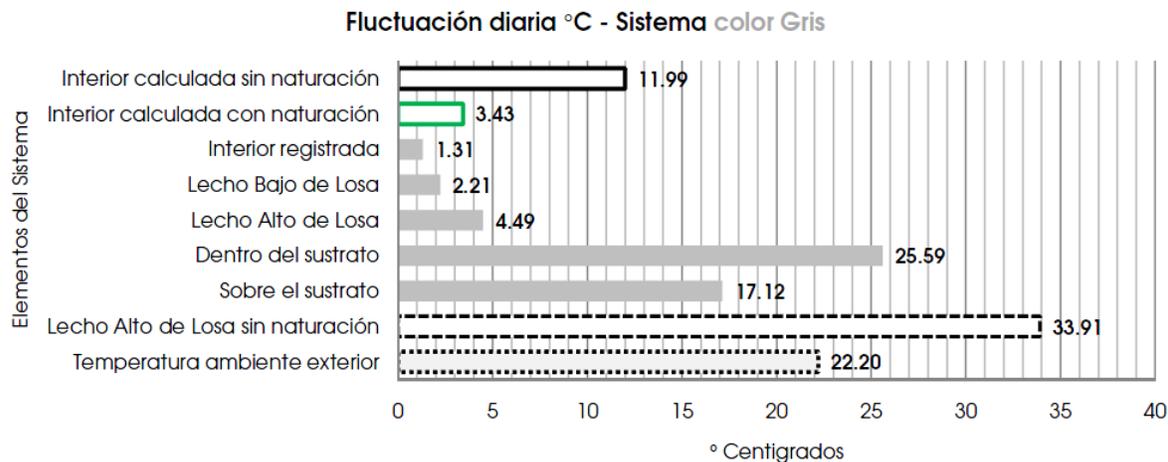


Gráfica 39 . Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

día 21 Enero	Temperatura ambiente exterior	Lecho Alto de Losa sin naturación	Sistema de Naturación Color Morado					Interior calculada con naturación	Interior calculada sin naturación
			Sobre el sustrato	Dentro del sustrato	Lecho Alto de Losa	Lecho Bajo de Losa	Interior registrada		
12:00:00 a.m.	8.40	13.91	9.18	9.18	15.01	18.18	18.79	20.00	14.04
01:00:00 a.m.	7.30	12.75	8.28	8.28	14.58	17.96	18.70	19.30	12.87
02:00:00 a.m.	6.40	11.42	8.08	8.08	14.15	17.84	18.60	18.93	10.42
03:00:00 a.m.	5.60	10.25	7.48	7.48	13.71	17.70	18.51	18.61	12.36
04:00:00 a.m.	5.00	9.29	6.78	6.78	13.33	17.56	18.37	18.32	11.93
05:00:00 a.m.	4.50	8.42	6.06	6.06	12.92	17.32	18.22	18.09	11.62
06:00:00 a.m.	4.10	7.47	5.55	5.55	12.56	17.15	18.08	17.77	11.13
07:00:00 a.m.	2.80	6.64	5.14	5.14	12.22	17.01	17.94	17.15	10.59
08:00:00 a.m.	5.90	7.04	4.52	4.52	11.88	17.42	17.99	18.08	14.54
09:00:00 a.m.	11.00	11.69	5.14	5.14	11.61	17.03	18.03	17.93	14.14
10:00:00 a.m.	16.20	20.58	9.28	8.68	11.59	16.77	17.87	18.13	14.59
11:00:00 a.m.	20.50	27.58	15.47	15.38	12.00	16.75	17.77	18.11	15.00
12:00:00 p.m.	23.30	33.39	21.09	20.52	12.85	16.73	17.75	18.42	16.15
01:00:00 p.m.	24.80	38.34	24.45	22.72	13.98	16.68	17.70	18.83	17.72
02:00:00 p.m.	25.00	40.54	28.36	24.93	15.18	16.68	17.68	19.28	19.30
03:00:00 p.m.	24.20	37.70	29.65	25.61	16.13	16.68	17.68	19.87	20.89
04:00:00 p.m.	22.80	38.20	29.05	25.61	16.68	16.84	17.82	20.19	21.95
05:00:00 p.m.	20.90	34.05	27.08	23.58	16.89	17.46	18.30	20.42	22.41
06:00:00 p.m.	18.80	26.79	22.91	20.52	16.80	17.49	18.32	20.58	22.22
07:00:00 p.m.	16.80	22.92	17.76	17.38	16.34	17.42	18.27	20.57	21.29
08:00:00 p.m.	14.70	20.48	15.19	15.09	15.84	17.53	18.34	20.54	20.62
09:00:00 p.m.	12.90	18.46	13.46	13.37	15.39	17.72	18.49	20.35	19.10
10:00:00 p.m.	11.20	16.68	12.11	12.11	15.01	17.72	18.49	20.26	17.42
11:00:00 p.m.	9.70	15.32	11.24	11.33	14.60	18.03	18.79	20.25	16.02
Temp. Máx	25.00	40.54	29.65	25.61	16.89	18.18	18.79	20.58	22.41
Temp. Min.	2.80	6.64	4.52	4.52	11.59	16.68	17.68	17.15	10.42
Fluctuación	22.20	33.91	25.13	21.09	5.30	1.50	1.12	3.43	11.99

Tabla 27. Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Sistema de color gris-enero



Gráfica 40 . Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

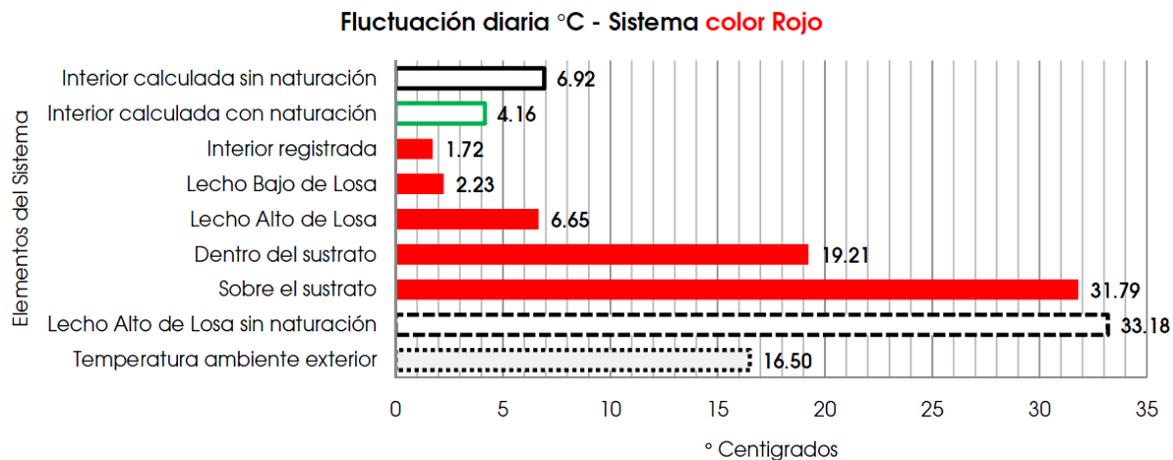
día 21 Enero	Temperatura ambiente exterior	Lecho Alto de Losa sin naturación	Sistema de Naturación Color Gris					Interior calculada con naturación	Interior calculada sin naturación
			Sobre el sustrato	Dentro del sustrato	Lecho Alto de Losa	Lecho Bajo de Losa	Interior registrada		
12:00:00 a.m.	8.40	13.91	9.77	8.48	14.53	17.96	18.22	20.00	14.04
01:00:00 a.m.	7.30	12.75	8.78	7.28	14.19	17.65	18.08	19.30	12.87
02:00:00 a.m.	6.40	11.42	8.28	7.48	13.88	17.46	17.96	18.93	10.42
03:00:00 a.m.	5.60	10.25	7.78	6.57	13.57	17.27	17.84	18.61	12.36
04:00:00 a.m.	5.00	9.29	7.18	5.76	13.26	17.08	17.70	18.32	11.93
05:00:00 a.m.	4.50	8.42	6.57	5.04	12.97	16.84	17.53	18.09	11.62
06:00:00 a.m.	4.10	7.47	5.86	4.31	12.70	16.65	17.32	17.77	11.13
07:00:00 a.m.	2.80	6.64	5.45	4.10	12.44	16.44	17.13	17.15	10.59
08:00:00 a.m.	5.90	7.04	4.83	3.37	12.15	16.46	16.99	18.08	14.54
09:00:00 a.m.	11.00	11.69	5.04	4.42	11.90	16.32	16.99	17.93	14.14
10:00:00 a.m.	16.20	20.58	6.37	5.96	11.76	16.53	16.99	18.13	14.59
11:00:00 a.m.	20.50	27.58	10.36	11.04	11.83	16.34	17.01	18.11	15.00
12:00:00 p.m.	23.30	33.39	13.56	13.65	12.12	16.53	17.11	18.42	16.15
01:00:00 p.m.	24.80	38.34	15.28	14.04	12.78	16.25	16.96	18.83	17.72
02:00:00 p.m.	25.00	40.54	18.52	21.47	13.81	16.20	16.96	19.28	19.30
03:00:00 p.m.	24.20	37.70	21.09	27.57	14.86	16.30	17.03	19.87	20.89
04:00:00 p.m.	22.80	38.20	21.95	28.95	15.61	16.61	17.23	20.19	21.95
05:00:00 p.m.	20.90	34.05	21.28	27.17	16.08	17.32	17.61	20.42	22.41
06:00:00 p.m.	18.80	26.79	19.66	23.00	16.25	17.34	17.70	20.58	22.22
07:00:00 p.m.	16.80	22.92	17.67	17.38	15.99	17.92	17.94	20.57	21.29
08:00:00 p.m.	14.70	20.48	15.38	14.52	15.56	18.41	18.27	20.54	20.62
09:00:00 p.m.	12.90	18.46	13.65	12.50	15.15	18.30	18.15	20.35	19.10
10:00:00 p.m.	11.20	16.68	12.30	11.14	14.79	18.22	18.08	20.26	17.42
11:00:00 p.m.	9.70	15.32	11.43	10.36	14.46	18.37	18.25	20.25	16.02
Temp. Máx	25.00	40.54	21.95	28.95	16.25	18.41	18.27	20.58	22.41
Temp. Min.	2.80	6.64	4.83	3.37	11.76	16.20	16.96	17.15	10.42
Fluctuación	22.20	33.91	17.12	25.59	4.49	2.21	1.31	3.43	11.99

Tabla 28. Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en enero. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

## Anexo 2.....

### Graficas del desempeño térmico en el mes de junio

#### Sistema de color rojo-junio



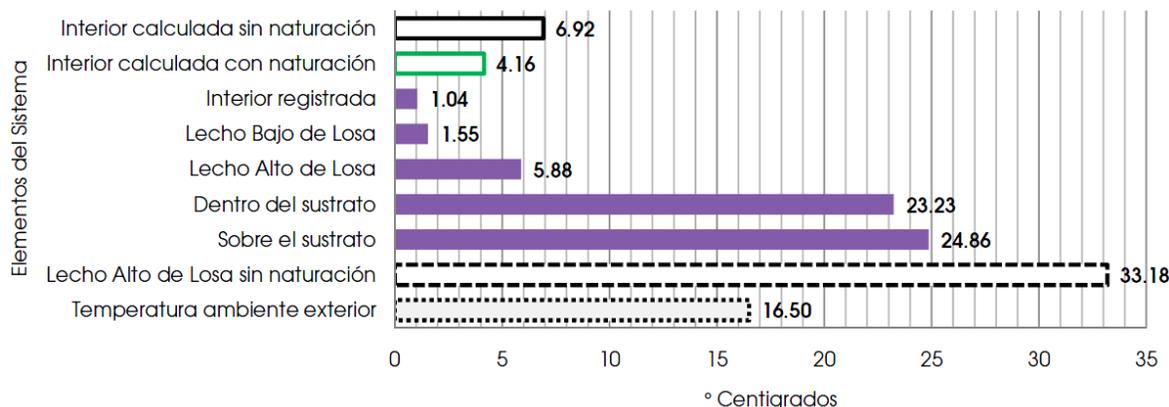
Gráfica 41 . Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

día 21 Junio	Temperatura ambiente exterior	Lecho Alto de Losa sin naturación	Sistema de Naturación Color Rojo					Interior calculada con naturación	Interior calculada sin naturación
			Sobre el sustrato	Dentro del sustrato	Lecho Alto de Losa	Lecho Bajo de Losa	Interior registrada		
12:00:00 a.m.	14.60	24.75	18.14	19.28	23.55	25.65	25.55	23.68	27.12
01:00:00 a.m.	14.00	24.24	18.33	19.19	23.21	25.53	25.38	23.37	26.88
02:00:00 a.m.	13.40	22.80	17.76	18.81	22.97	25.21	24.94	23.11	26.64
03:00:00 a.m.	12.90	21.96	17.28	18.43	22.66	25.04	24.87	22.76	26.39
04:00:00 a.m.	12.60	20.77	16.71	17.86	22.35	24.77	24.73	22.40	26.13
05:00:00 a.m.	12.30	20.58	16.90	17.86	22.06	24.51	24.53	22.07	25.88
06:00:00 a.m.	11.40	20.01	16.81	17.76	21.87	24.27	24.36	21.72	25.62
07:00:00 a.m.	14.00	19.06	16.43	17.57	21.65	24.03	24.20	20.79	20.83
08:00:00 a.m.	17.80	19.63	16.24	17.19	21.37	24.07	24.56	20.72	21.03
09:00:00 a.m.	21.70	24.27	18.24	18.05	21.25	24.12	24.41	20.79	21.37
10:00:00 a.m.	24.80	32.12	21.86	19.76	21.49	24.58	24.68	21.24	22.10
11:00:00 a.m.	26.80	39.29	31.17	22.72	22.39	24.94	24.94	21.57	22.74
12:00:00 p.m.	27.80	43.28	39.16	28.36	24.05	24.94	24.90	22.25	23.84
01:00:00 p.m.	27.90	49.92	45.70	33.43	25.82	25.11	25.09	23.14	24.99
02:00:00 p.m.	27.20	52.24	48.02	36.40	27.14	25.36	25.26	23.87	25.90
03:00:00 p.m.	26.10	51.74	45.83	35.44	27.60	25.62	25.38	24.39	26.78
04:00:00 p.m.	24.70	38.31	33.22	31.27	27.90	25.74	25.40	24.71	27.19
05:00:00 p.m.	23.20	38.31	31.06	28.56	26.94	25.99	25.55	24.87	27.53
06:00:00 p.m.	21.60	39.89	33.95	30.36	26.70	26.21	25.72	24.88	27.70
07:00:00 p.m.	20.10	32.67	26.00	26.00	26.35	26.26	25.65	24.85	27.75
08:00:00 p.m.	18.70	27.60	22.43	23.29	25.62	26.26	25.60	24.73	27.74
09:00:00 p.m.	17.50	25.67	20.52	21.66	24.92	26.18	25.55	24.58	27.70
10:00:00 p.m.	16.40	23.04	18.52	19.76	24.41	26.09	25.53	24.39	27.65
11:00:00 p.m.	15.40	21.99	17.48	18.71	23.74	26.04	25.91	24.23	27.57
Temp. Máx	27.90	52.24	48.02	36.40	27.90	26.26	25.91	24.88	27.75
Temp. Min.	11.40	19.06	16.24	17.19	21.25	24.03	24.20	20.72	20.83
Fluctuación	16.50	33.18	31.79	19.21	6.65	2.23	1.72	4.16	6.92

Tabla 29. Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Sistema de color morado-junio

Fluctuación diaria °C - Sistema color Morado

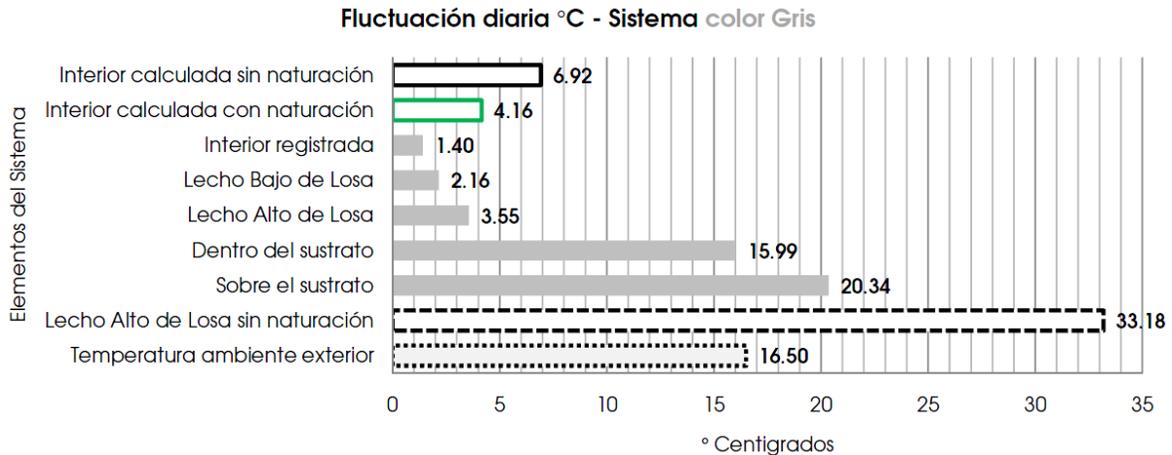


Gráfica 42 . Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

día 21 Junio	Temperatura ambiente exterior	Lecho Alto de Losa sin naturación	Sistema de Naturación Color Morado					Interior calculada con naturación	Interior calculada sin naturación
			Sobre el sustrato	Dentro del sustrato	Lecho Alto de Losa	Lecho Bajo de Losa	Interior registrada		
12:00:00 a.m.	14.60	24.75	18.81	19.57	24.48	25.84	25.84	23.68	27.12
01:00:00 a.m.	14.00	24.24	18.71	19.38	24.10	25.62	25.67	23.37	26.88
02:00:00 a.m.	13.40	22.80	18.33	19.09	23.76	25.45	25.57	23.11	26.64
03:00:00 a.m.	12.90	21.96	17.95	18.62	23.42	25.28	25.45	22.76	26.39
04:00:00 a.m.	12.60	20.77	17.38	18.05	23.09	25.09	25.31	22.40	26.13
05:00:00 a.m.	12.30	20.58	17.28	17.86	22.75	25.02	25.21	22.07	25.88
06:00:00 a.m.	11.40	20.01	17.19	17.86	22.49	24.80	25.04	21.72	25.62
07:00:00 a.m.	14.00	19.06	16.90	17.57	22.25	24.61	24.90	20.79	20.83
08:00:00 a.m.	17.80	19.63	16.71	17.19	21.96	24.63	24.90	20.72	21.03
09:00:00 a.m.	21.70	24.27	19.66	19.00	21.80	24.51	24.85	20.79	21.37
10:00:00 a.m.	24.80	32.12	25.32	23.87	21.99	24.51	24.80	21.24	22.10
11:00:00 a.m.	26.80	39.29	32.60	30.36	22.87	24.56	24.80	21.57	22.74
12:00:00 p.m.	27.80	43.28	36.95	34.80	24.15	24.53	24.85	22.25	23.84
01:00:00 p.m.	27.90	49.92	40.53	38.83	25.48	24.82	25.11	23.14	24.99
02:00:00 p.m.	27.20	52.24	41.58	40.42	26.62	24.82	25.21	23.87	25.90
03:00:00 p.m.	26.10	51.74	37.49	37.27	27.31	24.85	25.16	24.39	26.78
04:00:00 p.m.	24.70	38.31	33.33	33.54	27.68	24.87	25.11	24.71	27.19
05:00:00 p.m.	23.20	38.31	30.56	30.56	27.24	25.07	25.21	24.87	27.53
06:00:00 p.m.	21.60	39.89	29.95	30.46	27.09	25.40	25.48	24.88	27.70
07:00:00 p.m.	20.10	32.67	26.49	26.98	26.87	25.36	25.38	24.85	27.75
08:00:00 p.m.	18.70	27.60	24.06	24.55	26.38	25.43	25.40	24.73	27.74
09:00:00 p.m.	17.50	25.67	22.24	22.62	25.79	25.60	25.57	24.58	27.70
10:00:00 p.m.	16.40	23.04	20.04	20.62	25.28	26.06	25.84	24.39	27.65
11:00:00 p.m.	15.40	21.99	18.33	19.00	24.68	25.70	25.70	24.23	27.57
Temp. Máx	27.90	52.24	41.58	40.42	27.68	26.06	25.84	24.88	27.75
Temp. Min.	11.40	19.06	16.71	17.19	21.80	24.51	24.80	20.72	20.83
Fluctuación	16.50	33.18	24.86	23.23	5.88	1.55	1.04	4.16	6.92

Tabla 30. Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

Sistema de color gris-junio



Gráfica 43. Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

día 21 Junio	Temperatura ambiente exterior	Lecho Alto de Losa sin naturación	Sistema de Naturación Color Gris					Interior calculada con naturación	Interior calculada sin naturación
			Sobre el sustrato	Dentro del sustrato	Lecho Alto de Losa	Lecho Bajo de Losa	Interior registrada		
12:00:00 a.m.	14.60	24.75	18.81	20.14	24.48	25.40	25.21	23.68	27.12
01:00:00 a.m.	14.00	24.24	18.62	19.76	24.22	25.21	25.09	23.37	26.88
02:00:00 a.m.	13.40	22.80	18.33	19.57	23.98	25.02	24.97	23.11	26.64
03:00:00 a.m.	12.90	21.96	18.05	19.19	23.79	24.80	24.85	22.76	26.39
04:00:00 a.m.	12.60	20.77	17.48	18.71	23.59	24.58	24.70	22.40	26.13
05:00:00 a.m.	12.30	20.58	17.28	18.52	23.40	24.44	24.58	22.07	25.88
06:00:00 a.m.	11.40	20.01	17.28	18.43	23.23	24.24	24.44	21.72	25.62
07:00:00 a.m.	14.00	19.06	17.00	18.24	23.04	24.07	24.29	20.79	20.83
08:00:00 a.m.	17.80	19.63	16.71	17.86	22.85	24.03	24.24	20.72	21.03
09:00:00 a.m.	21.70	24.27	19.00	19.09	22.68	24.12	24.29	20.79	21.37
10:00:00 a.m.	24.80	32.12	23.58	22.43	22.66	24.32	24.39	21.24	22.10
11:00:00 a.m.	26.80	39.29	29.35	27.08	22.92	24.36	24.48	21.57	22.74
12:00:00 p.m.	27.80	43.28	33.01	30.36	23.52	24.51	24.58	22.25	23.84
01:00:00 p.m.	27.90	49.92	35.97	32.81	24.29	24.65	24.65	23.14	24.99
02:00:00 p.m.	27.20	52.24	37.06	33.85	25.11	25.04	25.02	23.87	25.90
03:00:00 p.m.	26.10	51.74	34.90	32.70	25.82	25.33	25.11	24.39	26.78
04:00:00 p.m.	24.70	38.31	32.81	31.88	26.21	25.16	25.14	24.71	27.19
05:00:00 p.m.	23.20	38.31	30.05	29.45	26.21	25.40	25.26	24.87	27.53
06:00:00 p.m.	21.60	39.89	29.65	28.56	26.04	26.18	25.65	24.88	27.70
07:00:00 p.m.	20.10	32.67	26.78	26.88	25.96	25.67	25.48	24.85	27.75
08:00:00 p.m.	18.70	27.60	24.64	25.22	25.74	25.57	25.43	24.73	27.74
09:00:00 p.m.	17.50	25.67	22.91	23.68	25.38	25.55	25.43	24.58	27.70
10:00:00 p.m.	16.40	23.04	21.00	22.43	25.07	25.57	25.48	24.39	27.65
11:00:00 p.m.	15.40	21.99	19.00	20.81	24.70	25.40	25.40	24.23	27.57
Temp. Máx	27.90	52.24	37.06	33.85	26.21	26.18	25.65	24.88	27.75
Temp. Min.	11.40	19.06	16.71	17.86	22.66	24.03	24.24	20.72	20.83
Fluctuación	16.50	33.18	20.34	15.99	3.55	2.16	1.40	4.16	6.92

Tabla 31. Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en junio. Fuente: Archivo GARCÍA, Ilse, México 2011.

## Bibliografía .....

ALBINO, Felipe. Instrumentos económicos para el estudio del impacto industrial en el ambiente”, Revista Economía Informa, Número 270, México: UNAM, Facultad de Economía, septiembre 1998.

ABRIL, y BÁRCENA. *Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*. Córdoba: Departamento de Bioquímica y Biología Molecular.

ADHÉMAR, Anna Jane. *Nature as clinical psychological intervention: evidence, applications and implications*. Tesis de Maestría en Psicología, Dinamarca: Universidad de Aarhus, 2008.

ANDRIEU, B, y F BARET. *Interet du moyen infrarouge reflectif por caracteriser la vegetation*. Bol. Societé Française pour la Photogrametrie et Teledetection, 1994.

ANSORENA MINER, Javier. *Sustratos : propiedades y caracterizacion*. Madrid: Mundi-Prensa, 1994.

ARQMONIA. <http://arqmonia.blogspot.com/2009/02/los-techos-verdes.html>. 2009. (último acceso: Noviembre de 2009).

BONNER, James, y Arthur W. GALSTON. *Principios de fisiología vegetal*. Cartago, Costa Rica: Libro Universitario Regional, 1999.

BRIZ, Julián. *Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medio ambiental*. Madrid: Grupo Mundi-Prensa, 2004.

BURES, Silvia. *Sustratos*. Madrid: Agrotecnias, 1997.

CARBAJAL, Jazmín. *Diseño Térmico De Azotea Verde En Clima Cálido Subhúmedo*. Tesis de Maestría, México: UNAM, 2009.

CARDELINO, C., y W. CHARMEIDES. «Natural hydrocarbons, urbanization and urban ozone.» *Journal of Geophysical Research*, 1990.

CARPIO, FLORES, PACHECO, y CANALES. *Calidad de vida: un análisis de su dimensión psicológica*. Revista Sonorense de Psicología, Vol. 14, No. 1 y 2, 3-15., 2000.

CHÁVEZ, Francisco J. *Zona variable de confort térmico*. Tesis de doctorado, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2002.

CRUZ, Héctor. «Desdeña GDF precontingencia ambiental.» *Crónica*, 28 de Marzo de 2011: 16.

D.J., Sailor. «A green roof model for building energy simulation programs.» *Energy and Buildings* 40, 2008: 1466–1478.

DE FELIPE. «Naturación Urbana en el Ámbito Internacional.» En *Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medio ambiental*, de Julián BRIZ. Madrid: Grupo Mundi-Prensa., 2004.

DIAZ, Melissa. *Cálculo del cambio de temperatura atmosférica debido al cambio de albedo. Aplicación para la Ciudad de México mediante la implementación de "Techos Verdes"*. México, 2008.

DOWNTON, Paul. «Green Roofs and Walls.» 176-179.

DUNNETT, Nigel, Ayako NAGASE, Rosemary BOOTH, y Philip GRIME. «Influence of vegetation composition on runoff in two simulated green roof experiments.» *Urban Ecosyst*, 2008: 385-398.

ENCISO, Angélica. «Piden acciones contra la crisis alimentaria.» *La Jornada*, 1 de Marzo de 2011: 39.

ESPINOZA, Eréndira. «Negocios verdes hace a las compañías más atractivas.» *Excelsior*, 8 de Marzo de 2011.

FANG, Chih-Fang. *Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops*. Científico, Taiwan: Elsevier, 2007.

Federación Internacional de Arquitectos Paisajistas. *Memoria XXXI Congreso Federación Internacional de Arquitectos Paisajistas : México, metrópolis, arquitectura de paisaje y ecología*. México: Sociedad de Arquitectos Paisajistas, 1994.

FEIJO MUÑO, Jesus. *Instalaciones de climatización en la arquitectura : estado actual y ultimas investigaciones*. Valladolid: Universidad de Valladolid, 2000.

FERNÁNDEZ, Felipe. «Clima y confortabilidad humana. Aspectos metrológicos.» *Serie Geografía* 4 (1994): 109-125.

G. Theodore, Theodosiou. «Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique.» *Energy and Buildings*, Vol. 35., 2003: 909-917.

GALILEA, REYES, y SANHUEZA. *Externalidades en proyectos urbanos: saneamiento de aguas servidas y del ferrocarril metropolitano en Santiago de Chile*. Santiago de Chile.: CEPAL - Serie Medio ambiente y desarrollo No 135, 2007.

GARCÍA VILLALOBOS, Ilse. *Cubiertas verdes*. Tesis Licenciatura, México: UNAM, 2009.

GARCÍA, Héctor. «Refuerzan la cultura ecológica de mexicanos.» *La Razón*, 28 de Marzo de 2011: 26.

GOLLWITZER, G, y W WIRSING. *Áreas habitadas de los techos, transitables y cubiertas por vegetación*. Alemania, 1971.

GÓMEZ, César. «El Componente Vegetal en la Naturación de Azoteas.» En *Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medio ambiental.*, de BRIZ Julián. Madrid: Grupo Mundi-Prensa, 2004.

GONZÁLEZ, Antonia, Virginia FLORES, y Samuel GARCÍA. *Guía de identificación de plantas útiles para la cobertura de azoteas urbanas*. México: Universidad Autónoma de Chapingo, 2004.

GOÑIZ, Alain. *Espacios verdes y paisaje urbano de la ciudad de Pnar del Río*. Tesis doctoral, Universidad de Alicante, 2007.

GRUB, H. *Ajardinamientos urbanos*. Barcelona: Gustavo Gili, 1986.

HEISLER, G. M. *Site design and microclimate research*. University Park, PA: U.S. Dept. of Agriculture Forest Service, Northeast Forest Experiment Station, 1989.

HERRERA, Pía. «Azoteas verdes contribuyen a contrarrestar la contaminación.» *Gaceta UNAM*, 17 de Enero de 2008: 9.

IBAÑÉZ, Ricardo. *Techos vivos extensivos: Una práctica sostenible por descubrir e investigar en Colombia*. 2008.

JÁUREGUI. «Impacto del uso del suelo en el clima de la Ciudad de México.» *Investigaciones Geográficas* (Universidad Nacional Autónoma de México), n° 055 (Diciembre 2004): 46-60.

JÁUREGUI, E. *Mesomicroclima de la Ciudad de Mexico*. México: UNAM, 1971.

JÁUREGUI. «The urban climate of Mexico City.» *Proceedings of the WMO Technical Conference on Urban Climate*, n° 652 (1986): 63-86.

JÁUREGUI, E. «Are heat waves increasing their frequency in Mexico City?» *Sixth International Conference on Urban Climate*. Suecia, 2006.

JÁUREGUI, E. *Heat island development in Mexico City*. Vol. vol. 31. 1997.

KOEHLER, Manfred. «Energetic Effects of Green Roofs to the Urban Climate Near to the Ground and to the Building Surfaces.» *International Green Roof Congress*. Nürtingen, 2004. 72-77.

KÖHLER, M., M. SCHMIDT, F. WILHELM, M. LAAR, V. DE ASSUNCAO, y S. TAVARES. «Green roofs in the temperate climates and the hot-humid tropics - far beyond the aesthetics.» *Environmental Management and Health*, 2002: 382-391.

KÖHLER, Manfred, Marco SCHMIDT, y Jack SICKERMANN. «Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido.» *GRÜNDÄCHER UND NIEDERSCHLAGSRETENTION*. Petrolina, 2001. 5.

KVISGAARD, Bjørn. *Thermal Comfort*. Denmark: INNOVA Air Tech Instruments, 1997.

LAZZARIN, Renato M., Francesco CASTELLOTTI, y Filippo BUSATO. *Experimental measurements and numerical modelling of a green roof*. Científico, Vicenza, Italia: Elsevier, 2005.

LÓPEZ DE JUAMBELZ, Isabel Rocío. *DISEÑO ECOLÓGICO. Aspectos estéticos, formales y técnicos*. Tesis de Doctorado, México: UNAM, 2008.

LÓPEZ DE JUAMBELZ, Rocío, Miguel CANSECO, José MORALES, y Alma ORTEGA. «Una paleta vegetal para cubierta verdes en climas templados subhúmedos.» *ANES 2010*, 2010: SNES2010-ABC-013.

LÓPEZ, Cristobal. «Propuestas para revertir la crisis alimentaria.» *Gaceta UNAM*, 10 de Marzo de 2011: 13.

MACHADO, María V., Celina BRITTO, y Javier NEILA. «El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica.» *Ambiente Construído*, 2003: 65-75.

MANCHADO, María, Celina BRITO, y Javier NEILA. «La cubierta ecológica como material de construcción.» *Informes de la Construcción*, 2000: 15-29.

MARTÍNEZ, Joel. *Impacto de la naturaleza urbana próxima*. Tesis doctoral, México DF: UNAM, 2010.

MINKE, Gernot. *Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Montevideo, Uruguay: Fin de siglo, 2004.

MÜLLER, Tania. «Naturación de azoteas.» En *Memorias de la IV Reunión Nacional sobre sistemas de captación de agua de lluvia*, 127-133. Edo. de México: Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, 1999.

NAREDO, José. *Raíces económicas del deterioro ecológico y social*. México: Siglo XXI, 2007.

NEILA. «La Cubierta Ecológica en el Contexto de la Arquitectura Bioclimática.» En *Naturación Urbana: cubierta ecológica y mejora medioambiental*, de Julián BRIZ. Madrid: Grupo Mundi-Prensa., 2004.

NEILA, F., C. BEDOYA, C. Acha ACHA, F. OLIVIERI, y M. BARBERO. «Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo material constructivo.» *Informes de la Construcción Vol. 60*, 2008: 15-24.

NIACHOU A. et al. «Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance.» *Energy and Building, Vol. 33*, 2001: 719-729.

«Norma Ambiental para el Distrito Federal Proy-Nadf-013-Rnat-2007.» Gaceta Oficial del Distrito Federal, México, 2008.

NOTIMEX. «El valle de México reporta alta radiación solar.» *Más por más*, 22 de Marzo de 2011: 2.

OCHOA. *La Vegetación como Instrumento para el Control Microclimático*. Tesis Doctoral, España.: Universidad Politécnica de Catalunya., 1999.

OKE, T., R. *Boundary layer climates*. Londres: Routledge, 1990.

OLGYAY, Victor. *Arquitectura y clima : manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

ORTEGA, MORALES, LÓPEZ, y CANSECO. «Diseño del modelo paramétrico para evaluar el desempeño térmico de una cubierta verde.» *SNES2010*, 2010: ABC-038.

PALOMO, Elena. *Analysis of the cooling potential of green roofs in buldings*. Energy and buildings, 1998.

PÉREZ, Edmundo. «Paisaje urbano en nuestras ciudades.» *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 2000: 33-37.

REYES, Jerónimo. «Establecimiento de Azoteas Verdes y Naturación.» *Cómo establecer una azotea verde*. México, 2008.

ROBINSON, Richard. *Externalidades positivas de las Montañas*. Documento de debate para el Tercer encuentro del Grupo de Adelboden, 2007.

- ROMERO, Laura. «El calentamiento global agravará la crisis del agua.» *Gaceta UNAM*, 22 de Marzo de 2011: 9.
- ROSALES, Luis. *Confort Térmico*. Notas clase. Clima y diseño, Sector de Acondicionamiento Ambiental - Escuela de Arquitectura – FAU/UCV.
- RUBIO, JUAN MANUEL. «Paisaje urbano. Recomendaciones de Diseño.»
- SAILOR, D.J. «A green roof model for building energy simulation programs.» *Energy and Buildings* 40, 2008: 1466–1478.
- SÁNCHEZ, Javier. *Departamento de Evapotranspiración*. . Salamanca: Depto. de Geología, Universidad de Salamanca., 2006.
- SCHMIDT, Marco, Manfred KÖHLER, y Michael LAAR. «Roof Gardens in Brazil.» *World Climate & Energy Event*. Rio de Janeiro, 2003. 455-460.
- SERRA, Rafael. *Arquitectura y climas*. Barcelona: Gustavo Gili, 2009.
- SILLMAN, S., y P.J. SAMSON. «The impact of temperature on oxidant formation in urban, polluted rural and remote environments.» *Journal of Geophysical*, 1995.
- STVEN, Peck, y Monica KUHN. *Design guidelines*. 2001.
- SZOKOLAY, Steven. *Environmental Science Handbook*. Inglaterra, 1981.
- TABARES VELASCO, Paulo César. «A New model to calculate energy savings of green roofs to be used in building energy simulation programs.»
- TANNER, y SCHOLZ-BARTH. «Green Roofs.» *Energy Efficiency and Renewable Energy. Departmente of Energy*, 2004.
- TERRADAS, Jaime. *Ecología de la vegetacion : de la ecofisiología de las plantas a la dinamica de comunidades y paisajes*. Barcelona: Omega, 2001.
- TIPPENS, Paul. *Física, conceptos y aplicaciones*. México: Mc Graw Hill, 6ª Ed., 2001.
- TOVAR, FIGUEROA, y GORDON. «Potencial bioclimático de la vegetación nativa de México aplicada en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico.» *SNES2010 ANES*, 2010: ABC-012.
- TUDELA, Fernando. *Ecodiseño*. México: UNAM, 1982.
- U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. «Green Roofs.» 2004.
- Vecchia Francisco et al. «Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales.» *Tecnología y Construcción*, vol. 22 n.2, 2006.
- WOLF, Kathy. *Urban Nature Benefits: Psycho-Social Dimensions of People and Plants*. Seattle, EUA: Centro de Horticultura Urbana de la Universidad de Washington, 1998.
- Wong, Nyuk Hien. «Study of thermal performance of extensive rooftop greenery system in the tropical climate.» *Building and Environment*, vol.42, 2007.

Web:

- ARQMONIA. <http://arqmonia.blogspot.com/2009/02/los-techos-verdes.html>. 2009. (último acceso: Noviembre de 2009).
- Augustenborg's Botanical Roof Garden and Scandinavian Green Roof Institute. 2009. <http://www.greenroof.se/>. (último acceso: Noviembre de 2009).
- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. 2009. <http://www.conabio.gob.mx/>. (último acceso: Enero de 2011).
- DAVIS, John. *Psychological benefits of nature experiences*. Mayo de 2008. <http://www.johnvdavis.com/ep/benefits.htm> (último acceso: Diciembre de 2010).
- Milenio.com. «Cuesta 2 mil pesos el m2 de azotea verde.» *Milenio.com*. Enero de 2011. <http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/2be504ebb2fb2703724fc150cf577003> (último acceso: Marzo de 2011).
- Ocio Networks SL. *ecologismo.com*. Octubre de 2010. <http://www.ecologismo.com/2010/10/15/que-es-la-ecoetica/> (último acceso: Mayo de 2011).
- VALDÉZ, Ana Lydia. «Azoteas verdes,aumento en la plusvalía.» *cnnexpansion.com*. 19 de Febrero de 2008. <http://www.cnnexpansion.com/obras/pulso-de-la-construccion/azoteas-verdes-aumento-en-la-plusvalia> (último acceso: Diciembre de 2010).

## Índice de Fotografías.....

<b>Fotografía 1.</b> Colocación de la membrana impermeabilizante.....	12
<b>Fotografía 2.</b> Detalles de la membrana impermeabilizante.....	12
<b>Fotografía 3.</b> Colocación del geocompuesto.....	13
<b>Fotografía 4.</b> Colocación del geocompuesto.....	13
<b>Fotografía 5.</b> Muestra de la plantación de la especie Sedum rubrotinctum.....	14
<b>Fotografía 6.</b> Espectrómetro.....	27
<b>Fotografía 7.</b> Imagen de las muestras de las especies vegetales espectrofotómetro.....	27
<b>Fotografía 8.</b> Vista norte del edificio donde se ubica la cubierta naturada.....	71
<b>Fotografía 9.</b> Instalación de la estación meteorológica en la cubierta naturada.....	78
<b>Fotografía 10.</b> Revisión y monitoreo de la cubierta naturada.....	78
<b>Fotografía 11.</b> Monitoreo de la cubierta naturada.....	81
<b>Fotografía 12.</b> Instalación del sensor HOBO U12, ubicado en la sala del departamento.....	82
<b>Fotografía 13.</b> Instalación del sensor HOBO U12, ubicado en la recámara poniente.....	82

## Índice de Fichas.....

<b>Ficha 1.</b> Ficha de identificación de la especie Senecio cineraria.....	83
<b>Ficha 2.</b> Ficha de identificación de la especie Sedum rubrotinctum.....	83
<b>Ficha 3.</b> Ficha de identificación de la especie Setcreasea purpurea.....	84
<b>Ficha 4.</b> Ficha de identificación de la especie Mesembryanthemum educe.....	84

## Índice de imágenes.....

<b>Imagen 1.</b> Grupo de imágenes del crecimiento de la Ciudad de México.....	1
<b>Imagen 2.</b> Esquema de algunas relaciones objeto arquitectónico-ambiente.....	4
<b>Imagen 3.</b> Vista de la envolvente plástica del edificio Watercube.....	5
<b>Imagen 4.</b> Vista de la cubierta del Instituto de Recursos Marinos y de Agua Dulce DPI, en Australia.....	6
<b>Imagen 5.</b> Representación de los Jardines colgantes de Babilonia.....	7
<b>Imagen 6.</b> Vista de la Casa Hundertwasser.....	8
<b>Imagen 7.</b> Vista de la cubierta naturada de la Glorieta de Insurgentes.....	8
<b>Imagen 8.</b> Vista de la cubierta con un sistema de naturación intensivo.....	9
<b>Imagen 9.</b> Vista de la envolvente con un sistema de naturación semi-intensivo.....	9
<b>Imagen 10.</b> Vista de la cubierta con un sistema de naturación intensivo.....	9
<b>Imagen 11.</b> Esquema comparativo de los tipos de sistemas de naturación en cubiertas.....	10
<b>Imagen 12.</b> Esquema de los componentes de un sistema de naturación en cubiertas.....	11
<b>Imagen 13.</b> Debe existir una relación adecuada, armónica y ordenada entre la persona y la naturaleza.....	15
<b>Imagen 14.</b> Acciones de la vegetación sobre el viento.....	17
<b>Imagen 15.</b> Distribución de las temperaturas en °F, en el LaFontaine Park.....	18
<b>Imagen 16.</b> Ejemplo de naturaleza urbana en el desarrollo urbano Roppongi Hills, en Tokio Japón.....	19
<b>Imagen 17.</b> Esquema de relación hombre-naturaleza.....	20
<b>Imagen 18.</b> Acciones y efectos del estrés en el cuerpo humano.....	21
<b>Imagen 19.</b> El contacto con la naturaleza.....	21
<b>Imagen 20.</b> El contacto con la naturaleza.....	22
<b>Imagen 21.</b> Distintos tipos de texturas vegetales.....	23
<b>Imagen 22.</b> Vista comparativa del mismo árbol en la época seca y en la época lluviosa.....	23
<b>Imagen 23.</b> Esquema de la estructura de un elemento vegetal.....	24
<b>Imagen 24.</b> Distintos colores de vegetación.....	24
<b>Imagen 25.</b> Esquema de los principales procesos de la vegetación en los sistemas de naturación.....	25
<b>Imagen 26.</b> Imágenes de vegetación en los sistemas de naturación.....	26
<b>Imagen 27.</b> Esquema de la cámara que mide la conductividad térmica.....	29
<b>Imagen 28.</b> Imagen de las especies analizadas.....	29
<b>Imagen 29.</b> Caricatura "usar y tirar".....	31
<b>Imagen 30.</b> Vista de la vegetación en el paisaje urbano en Chicago.....	33
<b>Imagen 31.</b> Distintos tipos de depósitos de partículas en los sistemas de naturación.....	34
<b>Imagen 32.</b> Gráficas comparativas de fluctuaciones de temperaturas.....	36
<b>Imagen 33.</b> Gráfica del desagüe pluvial.....	37
<b>Imagen 34.</b> Gráficas comparativas entre retención de agua pluvial y espesor de sustrato.....	37
<b>Imagen 35.</b> Gráficas Comparación de los intercambios energéticos de una cubierta.....	37
<b>Imagen 36.</b> Gráfica de resultados de mediciones de temperaturas en una cubierta verde.....	38
<b>Imagen 37.</b> Resultados de mediciones de temperaturas en una cubierta verde.....	38
<b>Imagen 38.</b> El uso de naturación crea atractivas vistas visuales dentro de las zonas urbanas.....	39
<b>Imagen 39.</b> Las edificaciones deben de proveer a los usuarios de un ambiente térmico confortable.....	41
<b>Imagen 40.</b> Parámetros físicos que modifican la sensación térmica del espacio.....	42
<b>Imagen 41.</b> Características físicas de la vegetación.....	56
<b>Imagen 42.</b> Propiedades ópticas de la vegetación.....	57
<b>Imagen 43.</b> Propiedades higrótérmicas de la vegetación.....	58
<b>Imagen 44.</b> Localización de la delegación Xochimilco en el Distrito Federal.....	59
<b>Imagen 45.</b> Vista aérea de la cubierta del departamento seleccionado como modelo experimental.....	60
<b>Imagen 46.</b> Análisis de sombras horarias del mes prototipo de enero.....	65
<b>Imagen 47.</b> Análisis de sombras horarias del mes prototipo de junio.....	66
<b>Imagen 48.</b> Viento dominante para un día tipo del mes prototipo enero.....	68
<b>Imagen 49.</b> Viento dominante para un día tipo del mes prototipo junio.....	70
<b>Imagen 50.</b> Vista aérea de la cubierta del departamento seleccionado como modelo experimental.....	71
<b>Imagen 51.</b> Proceso de instalación de la cubierta naturada.....	77
<b>Imagen 52.</b> Ubicación gráfica de color de las especies utilizadas en la cubierta naturada.....	78
<b>Imagen 53.</b> Vista de la cubierta naturada.....	79

## Índice de tablas.....

<b>Tabla 1.</b> Tabla comparativa de los sistemas de naturación.....	10
<b>Tabla 2.</b> Coeficientes promedio de reflexión, absorción y transmisión de una hoja verde .....	16
<b>Tabla 3.</b> Datos de albedo en relación a la emisividad de diferentes superficies.....	16
<b>Tabla 4.</b> .Apreciación del color.....	28
<b>Tabla 5.</b> . Datos de los picos máximos registrados en el espectrograma.....	28
<b>Tabla 6.</b> Sensación térmica en función de la humedad relativa del aire.....	42
<b>Tabla 7.</b> Sensación térmica en función de la velocidad del viento.....	43
<b>Tabla 8.</b> Tabla de valores de metabolismo (met) para distintas actividades.....	44
<b>Tabla 9.</b> Tabla de valores clo.....	45
<b>Tabla 10.</b> . Temperaturas mensuales .....	60
<b>Tabla 11.</b> Identificación de las cuatro especies utilizadas en la naturación de la cubierta.....	78
<b>Tabla 12.</b> Datos de materiales inertes utilizados en el cálculo térmico .....	85
<b>Tabla 13.</b> Datos de conductividad térmica de las especies vegetales.....	86
<b>Tabla 14.</b> Datos del cálculo térmico para el mes de enero.....	88
<b>Tabla 15.</b> Datos del cálculo térmico para el mes de junio.....	88
<b>Tabla 16.</b> Datos de registros sobre el sustrato en enero.....	90
<b>Tabla 17.</b> Datos de registros dentro del sustrato en enero.....	91
<b>Tabla 18.</b> Datos de registros lecho alto de losa en enero.....	92
<b>Tabla 19.</b> Datos de registros en lecho bajo de losa en enero.....	93
<b>Tabla 20.</b> Datos de registros al interior del espacio en enero.....	94
<b>Tabla 21.</b> Datos de registros sobre el sustrato en junio.....	96
<b>Tabla 22.</b> Datos de registros dentro del sustrato en junio.....	97
<b>Tabla 23.</b> Datos de registros lecho alto de losa en junio.....	98
<b>Tabla 24.</b> Datos de registros en lecho bajo de losa en junio.....	99
<b>Tabla 25.</b> Datos de registros al interior del espacio en junio.....	100
<b>Tabla 26.</b> Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en enero.....	111
<b>Tabla 27.</b> Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en enero.....	112
<b>Tabla 28.</b> Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en enero.....	113
<b>Tabla 29.</b> Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en junio.....	114
<b>Tabla 30.</b> Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en junio.....	115
<b>Tabla 31.</b> Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en junio.....	116

## Índice de gráficas.....

<b>Gráfica 1.</b> Espectrograma que compara cada color de las especies vegetales .....	28
<b>Gráfica 2.</b> Datos de reducción térmica de las especies vegetales utilizadas en el modelo experimental ...	30
<b>Gráfica 3.</b> Datos de conductividad térmica de las especies vegetales.....	30
<b>Gráfica 4.</b> Temperaturas mensuales.....	61
<b>Gráfica 5.</b> Humedad relativa mensual.....	62
<b>Gráfica 6.</b> Precipitación mensual .....	62
<b>Gráfica 7.</b> Climograma.....	63
<b>Gráfica 8.</b> Selección de los dos meses de diseño.....	63
<b>Gráfica 9.</b> Gráfica solar .....	64
<b>Gráfica 10.</b> Gráfica de temperatura horaria para el mes prototipo enero .....	67
<b>Gráfica 11.</b> Gráfica de humedad relativa horaria para el mes prototipo enero.....	67
<b>Gráfica 12.</b> Gráfica de radiación solar horaria para el mes prototipo enero.....	68
<b>Gráfica 13.</b> Gráfica de humedad relativa horaria para el mes prototipo enero.....	68
<b>Gráfica 14.</b> Gráfica de temperatura horaria para el mes prototipo junio.....	69
<b>Gráfica 15.</b> Gráfica de temperatura horaria para el mes prototipo junio.....	69
<b>Gráfica 16.</b> Gráfica de radiación solar horaria para el mes prototipo junio.....	70
<b>Gráfica 17.</b> Gráfica de humedad relativa horaria para el mes prototipo junio.....	70
<b>Gráfica 18.</b> Gráfica de resultados del cálculo térmico en enero.....	86
<b>Gráfica 19.</b> Gráfica de resultados del cálculo térmico en junio.....	87
<b>Gráfica 20.</b> Gráfica desempeño térmico sobre el sustrato en enero.....	90
<b>Gráfica 21.</b> Gráfica desempeño térmico dentro del sustrato en enero.....	91
<b>Gráfica 22.</b> Gráfica desempeño térmico en el lecho alto de losa en enero.....	92
<b>Gráfica 23.</b> Gráfica desempeño térmico lecho bajo de losa en enero.....	93

<b>Gráfica 24</b> . Gráfica desempeño térmico al interior del espacio en enero.....	94
<b>Gráfica 25</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica diaria de los sistemas en enero.....	95
<b>Gráfica 26</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en la temperatura interior en enero.....	95
<b>Gráfica 27</b> . Gráfica desempeño térmico sobre el sustrato en junio.....	96
<b>Gráfica 28</b> . Gráfica desempeño térmico dentro del sustrato en junio.....	97
<b>Gráfica 29</b> . Gráfica desempeño térmico en el lecho alto de losa en junio.....	98
<b>Gráfica 30</b> . Gráfica desempeño térmico lecho bajo de losa en junio.....	99
<b>Gráfica 31</b> . Gráfica desempeño térmico al interior del espacio en junio.....	100
<b>Gráfica 32</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica diaria de los sistemas en junio.....	101
<b>Gráfica 33</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en la temperatura interior en junio.....	101
<b>Gráfica 34</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el lecho alto de losa en el mes de enero.....	102
<b>Gráfica 35</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el lecho alto de losa en el mes de junio.....	102
<b>Gráfica 36</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el interior de la edificación en enero.....	103
<b>Gráfica 37</b> . Gráfica comparativa de la fluctuación térmica en el interior de la edificación en junio.....	103
<b>Gráfica 38</b> . Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en enero.....	111
<b>Gráfica 39</b> . Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en enero.....	112
<b>Gráfica 40</b> . Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en enero.....	113
<b>Gráfica 41</b> . Gráfica desempeño térmico del sistema de color rojo en junio.....	114
<b>Gráfica 42</b> . Gráfica desempeño térmico del sistema de color morado en junio.....	115
<b>Gráfica 43</b> . Gráfica desempeño térmico del sistema de color gris en junio.....	116

## Índice de diagramas.....

<b>Diagrama 1</b> . Componentes básicos de una cubierta verde.....	14
<b>Diagrama 2</b> . Criterios que debe cumplir la vegetación en los sistemas de naturación extensivos.....	26
<b>Diagrama 3</b> . Esquema de los elementos que influyen en la capacidad de retención de agua.....	36
<b>Diagrama 21</b> . Parámetros de la percepción del ambiente térmico.....	46
<b>Diagrama 5</b> . Consideraciones generales que debe cumplir la vegetación en los sistemas de naturación.....	49
<b>Diagrama 6</b> . Requerimientos generales que debe cumplir la vegetación.....	49
<b>Diagrama 7</b> . Características que según la Norma NADF-013-RNAT-2007 debe cumplir la vegetación.....	50
<b>Diagrama 8</b> . Grupos de vegetación que la Norma NADF-013-RNAT-2007 da a conocer.....	50
<b>Diagrama 9</b> . Recomendaciones de la Norma NADF-013-RNAT-2007 en operación y mantenimiento.....	50
<b>Diagrama 10</b> . Características de la vegetación.....	55
<b>Diagrama 11</b> . Diferencia en °C sobre el sustrato enero.....	90
<b>Diagrama 12</b> . Diferencia en °C dentro del sustrato enero.....	91
<b>Diagrama 13</b> . Diferencia en °C lecho alto de losa en enero.....	92
<b>Diagrama 14</b> . Diferencia en °C en lecho bajo de losa enero.....	93
<b>Diagrama 15</b> . Diferencia en °C al interior del espacio en enero.....	94
<b>Diagrama 16</b> . Diferencia en °C sobre el sustrato en junio.....	96
<b>Diagrama 17</b> . Diferencia en °C dentro del sustrato junio.....	97
<b>Diagrama 18</b> . Diferencia en °C lecho alto de losa en junio.....	98
<b>Diagrama 19</b> . Diferencia en °C en lecho bajo de losa en junio.....	99
<b>Diagrama 20</b> . Diferencia en °C al interior del espacio en junio.....	100

## Índice de planos.....

<b>Plano 1</b> . Planta del Edificio Colorín, donde se muestra la ubicación del departamento seleccionado.....	72
<b>Plano 2</b> . Sección del Edificio Colorín, donde se muestra la ubicación del departamento seleccionado.....	72
<b>Plano 3</b> . Planta arquitectónica del departamento.....	73
<b>Plano 4</b> . Planta de la azotea del departamento.....	74
<b>Plano 5</b> . Planta de la cubierta naturada del departamento.....	75
<b>Plano 6</b> . Detalle 1. Especificaciones de los materiales que componen el sistema de naturación.....	76
<b>Plano 7</b> . Detalle 2. Ubicación y descripción de los sensores.....	79
<b>Plano 8</b> . Planta arquitectónica del departamento donde se muestra la ubicación de los sensores.....	80
<b>Plano 9</b> . Planta arquitectónica de la cubierta naturada donde se muestra la ubicación de los sensores.....	81
<b>Plano 10</b> . Corte A-A'. Ubicación de los sensores.....	82
<b>Plano 11</b> . Esquema de la ubicación de la recámara seleccionada para realizar el cálculo térmico.....	85
<b>Plano 12</b> . Detalle 3. Ubicación y descripción de los sensores utilizados en el monitoreo térmico.....	89