

DISEÑO TÉRMICO DE AZOTEA VERDE EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO.

JAZMIN CARBAJAL AVILA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



México D.F. FEBRERO 2009





Universidad Nacional
Autónoma de México

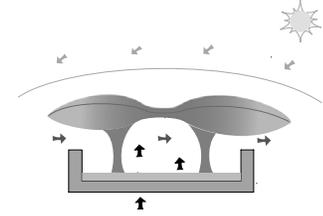


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

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.



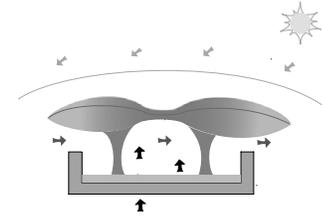
DISEÑO TÉRMICO DE AZOTEA VERDE EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO.

TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN ARQUITECTURA

PRESENTA:
JAZMIN C
ARBAJAL AVILA

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

México D.F. FEBRERO 2009



DIRECTOR DE TESIS:

Dr. José Diego Morales Ramírez

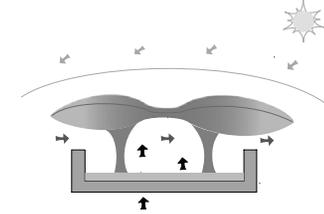
SINODALES:

Dra. Gemma Verduzco Chirino

Mtro. Francisco Reyna Gómez

Mtro. Jorge Rangel Dávalos

Mtro. Ernesto Ocampo Ruiz



AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Por el voto de confianza para financiar gran parte de la investigación y por darme la oportunidad de estudiar en la Máxima Casa de Estudios.

BIÓL. JERÓNIMO REYES SANTIAGO

Por la enorme generosidad para compartir sus conocimientos y su tiempo en asesorías con particular júbilo y sencillez.

PROYECTO PAPIT: QUINTA FACHADA, UNA PROPUESTA ESTÉTICA Y TÉCNICA. Por las facilidades que me dieron para realizar la Investigación.

MTRA. ALMA ROSA ORTEGA MENDOZA

Por su asesoría, entusiasmo y consejos para el desarrollo de la investigación.

QUÍM. MIGUEL ÁNGEL CANSECO

Por las facilidades y la asesoría en las pruebas de laboratorio esenciales para la aportación del documento.

LIC. ENF. GUADALUPE AVILA HERRERA

Mi mamá, mi guía y mayor impulso para enfrentar la vida, el reto a superar.

SR. ADAN CARBAJAL RÍOS

Mi papá, por ser clave importante de mi vida aún en la distancia.

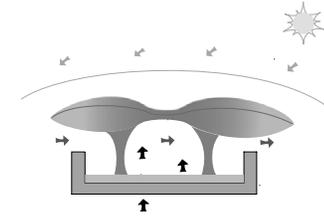
LAE. AZUCENA CARBAJAL AVILA

La mejor hermana que pude tener.

SRA. BERNARDA HERRERA BUTRÓN

Mi abuelita, Por darme ternura y consejos el momento que los necesito.

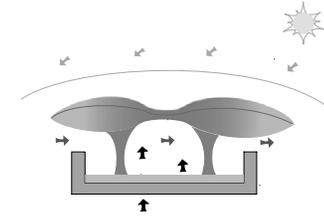
A MIS TÍOS ALBERTO Y LUPITA, MAGO Y JAIME, Y MIS AMIGOS LIZ, MARU, ARTURO E IXTCHEL.



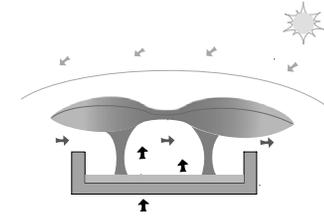
Por apoyarme y compartir conmigo alegrías y tristezas en los dos años inolvidables de la maestría.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	7
I. ANTECEDENTES	8
II. MARCO TEÓRICO	12
III. CRITERIOS DE DISEÑO TÉRMICO PARA AZOTEA VERDE	49
IV. MODELO DE ESTUDIO	52
IV.1 Descripción del modelo.	52
IV.2 Elección de los materiales vivos e inertes.	55
V. MUNICIPIO DE ACAPULCO GUERRERO. Factores geográficos y atmosféricos.	57
V.1 Ubicación Geográfica	57
V.2 Datos atmosféricos de Acapulco Guerrero.	58
V.3 Condiciones de confort higrotérmico.	62
VII. CASO DE ESTUDIO	66
VII.1 Localización	66
VII.2 Datos atmosféricos del día de diseño.	67
VII.3 Planos Arquitectónicos.	70



VIII. RESULTADOS	73
VIII.1 Vegetación con alto potencial.	73
VIII.2 Comparación de sistemas.	79
VIII.3 Enfriamiento evaporativo.	80
VIII.4 Propiedades ópticas de la vegetación.	81
VIII.4.1 Reflectancia vegetal.	81
VIII.4.2 Características espectrales de la vegetación.	82
VIII.5 Pruebas térmicas y físicas de los materiales inertes.	83
VIII.6 Cálculo térmico con la azotea expuesta.	85
VIII.7 Cálculo térmico con la azotea verde.	86
VIII.8 Comparativa	87
VIII.9 Lugares potenciales en la República Mexicana.	89
IX. CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA	94
GLOSARIO	99
ANEXOS	101



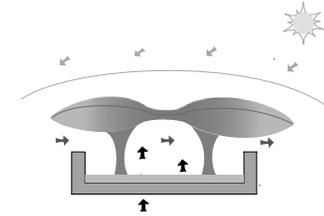
PROLOGO

El presente trabajo titulado “Diseño Térmico de Azotea Verde en Clima Cálido Subhúmedo” quizás sea el primero que aborde el tema de naturación en este clima con un modelo matemático experimental, así como la investigación sobre las especies vegetales aptas para la ejecución de dicho proyecto. La Arquitecta Jazmín Carbajal Avila se atrevió no sólo a realizar un exhaustivo acopio de información histórica de la evolución de los sistemas de naturación si no que propone un nuevo modelo funcional para un lugar específico como es la Ciudad de Acapulco, Guerrero. Para esto, ella tuvo que obtener datos del Sistema Meteorológico Nacional de la zona.

La Universidad Nacional Autónoma de México fomenta que los estudiantes sean innovadores, en éste caso la Arq. Carbajal aborda un tema con enfoque ecológico, construir inmuebles amables con la naturaleza, además de la estética y de disminuir costos de mantenimiento así como contribuir en bajar las emisiones de gases a la atmósfera por el excesivo consumo de energía fósil.

Es gratificante encontrar una alumna tan entusiasta que no se conformó con un modelo de predicciones para justificar una tesis, colaboró de manera intensiva en el diseño y la plantación de especies de suculentas en el establecimiento de azoteas verdes en dos sitios de la Ciudad de México. De esta manera la Arq. Carbajal adquirió experiencia real de lo que implica la construcción de sistemas de naturación, tuvo la oportunidad de hacer una lista actualizada de materiales y direcciones de proveedores de productos para un sistema de naturación, mismo que se presenta en un anexo.

Es muy interesante el trabajo que se hizo para conocer sobre la calidad de las carpetas asfálticas nacionales e importadas, así como las geomembranas y sobre todo de los sustratos que se utilizan. Los datos obtenidos son básicos para mejorar los sistemas de naturación de azoteas.

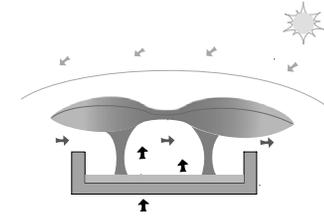


El diseño térmico es un tema que necesariamente se tiene que tomar en cuenta en poco tiempo en México por la constante pérdida de áreas verdes a causa de los asentamientos humanos, es aquí donde requiere el trabajo de profesionales preparados para influir en la toma de decisiones.

En este trabajo se presentan los diferentes sistemas de naturación, así como de los beneficios ecológicos y económicos, se calcula que puede haber un ahorro de energía hasta de un 45%. También considera los criterios y parámetros que deben tomarse en cuenta para un sistema de cubierta vegetal en una zona cálida subhúmeda haciendo comparaciones con otros países que han tenido experiencia sobre el tema. En el caso particular buscó especies de plantas suculentas que responden mejor en la regulación de temperatura y ahorro de agua, son recomendables los magueyes, siemprevivas y comelináceas principalmente.

Los resultados son novedosos en su diseño del inmueble contemplado la orientación del sol, la dirección del viento y el nivel de confort que se desea. Finalmente se resalta la creatividad, la innovación y la capacidad que se adquiere en nuestra máxima casa de estudios para resolver necesidades que demanda nuestro país.

Biól. Jerónimo Reyes Santiago



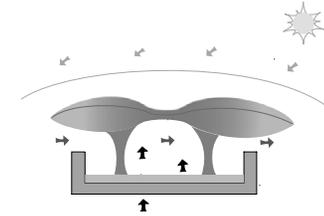
INTRODUCCIÓN

En México, del total de la energía consumida en la vivienda los sistemas de climatización ocupan el tercer lugar. Cabe aclarar que las viviendas de las costas, con clima cálido húmedo, demandan mayor energía para los sistemas de enfriamiento y, por lo tanto, en estas zonas su uso ocupa el segundo lugar del consumo total.¹ Solo es necesaria una calefacción moderada durante 40 horas al año, 1250 horas requieren un suministro bajo, 940 horas no requieren ningún tipo de tratamiento especial, la refrigeración es conveniente durante 6650 horas al año [lo que equivale aproximadamente a 9 meses], no obstante, una instalación de este tipo, con su alto coste, contrasta drásticamente con las condiciones externas normales.²

Es importante utilizar materiales y sistemas de construcción que reduzcan las ganancias térmicas externas, principalmente en la azotea que es donde se recibe gran parte de la radiación solar. En el transcurso de la investigación se analizó la posibilidad de utilizar el sistema de azotea verde en el clima cálido sub húmedo. En el capítulo 1 y 2 se describen los antecedentes de la azotea verde, los elementos, beneficios y modelos de aplicación con el objetivo de disminuir el flujo de calor al interior de la vivienda. El capítulo 3 contiene criterios de diseño térmico así como los parámetros más importantes a considerar. En el capítulo 4 se describe el modelo de estudio el cual se desarrolla de los capítulos 5 al 7. Se utilizó un modelo matemático-experimental, ubicando la zona de estudio en la ciudad y puerto de Acapulco para la vivienda del sector medio con la finalidad de observar la disminución del flujo de calor y la temperatura interior. Las variables utilizadas fueron las propiedades térmicas y ópticas de los materiales vivos e inertes que conforman el sistema. Primeramente se diseñó un sistema apropiado para la zona de estudio, se realizó un cálculo térmico del estado actual del caso de estudio, se realizaron pruebas de laboratorio de las propiedades térmicas de los materiales inertes producidos en México y se utilizaron datos bibliográficos de las propiedades ópticas de la vegetación. Por último en el capítulo 8 se encuentran los resultados y las conclusiones del modelo. Cabe aclarar que la propuesta solo debe utilizarse en construcciones que puedan soportar la carga adicional del sistema. Los resultados se pueden optimizan si estas tienen eficiente ventilación natural o si existe la posibilidad de mejorarla.

¹ Guía conafovi, Uso Eficiente de la Energía en la Vivienda, 2006.

² Olgay Victor, Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas, GG, Barcelona, p. 174, 1998.



I. ANTECEDENTES

Los jardines ornamentales en el techo empiezan a ser desarrolladas por las civilizaciones antiguas de los valles de los Ríos Tigris y Eufrates. El primer ejemplo de una cubierta vegetal intensiva se le atribuye al rey Nabucodonosor II en el siglo V a.C. quien construyó los Jardines Colgantes de Babilonia. Sin embargo, existe una leyenda que sitúa la fecha de su construcción a finales del s. XI a. de C. por la reina Shammuramat, llamada Semíramis por los griegos.

En los territorios escandinavos se localizan cubiertas vegetales originarias de las aldeas vikingas. Los techos estaban soportados por una estructura de madera densa protegida con turba. A partir del siglo XIX la tipología de vivienda más común fue la llamada “burstabaer”, una estructura hecha con paredes de hasta 2m de grosor cubierta de piedra y turba. La impermeabilización consistía en colocar una capa de alquitrán en el soporte de madera, sobre el cual se colocaba una capa de corteza de abedul, seguido de una mezcla de ramas y grava en una capa delgada y finalmente dos capas de turba, un modelo posterior usaba una capa de plástico duro en lugar de la corteza de abedul. Los aleros al final de la cubierta eran rematados por un sólido tablón soportado por ganchos de roble. El pastizal era cortado en bloques de 1-2m de largo por 50-60cm de ancho y 5-6cm de espesor. La turba era fertilizada y cortada una vez por año. Entre dos cubiertas inclinadas se ubicaba un canal para permitir el escurrimiento del agua. Así que, un buen techo podía durar de 20 a 30 años.

Sin embargo, solo fue el desarrollo de materiales constructivos y técnicas derivadas de la experiencia, funcionalidad óptima posible y el confort térmico satisfactorio, así como la carencia de materiales de construcción convenientes.³

³ Joost Van Hoof et al, The historical turf farms of Iceland: Architecture, building technology and the indoor environment, Building and Environment, 43, p.1026-1027, 2008.

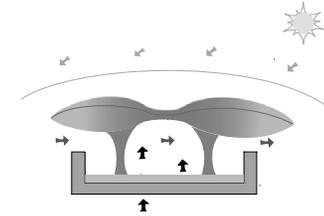
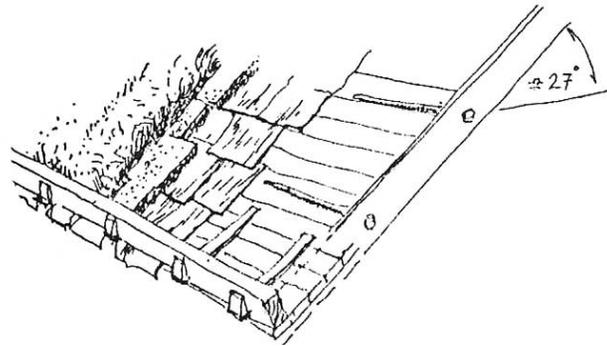
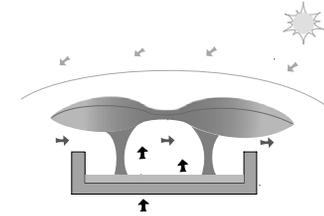


Imagen 1. Detalle de cubierta verde en vivienda Escandinava.

La cubierta verde extensiva tiene sus orígenes en países como Islandia, en edificios residenciales y Hungría en bodegas de vino. “Simple cubierta de hierba fue utilizada para proteger el interior contra el calor en el verano y el frío en invierno”. En 1900 la cubierta extensiva fue mas desarrollada, por un tejador alemán para utilizarse en un edificio residencial contemporáneo⁴.

El arquitecto Le Corbusier fue tal vez el primero en utilizar techos jardín mas sistemáticamente desde 1920 en adelante. En 1927 publicó en la revista L’Architecture Vivante “La teoría de la cubierta Jardín” un documento que trata de la planeación y el uso de la terraza. En este documento admitía que la cubierta verde se podía aplicar tanto para los climas templados, suaves e incluso cálidos, por razones de orden técnico, económico y de confort. En 1935 en Rió de Janeiro se convoca el concurso para el Ministerio de Educación y Salud, en el cual Le Corbusier participa en calidad de consejero en coordinación con los arquitectos Lucio Costa, Oscar Niemeyer, Eduardo Affonso Reidy, Jorge Machado Moreira, Carlos Leao y Ernani Vasconcelos. En 1937 está listo el proyecto definitivo, basado en las sugerencias del maestro. Se trata de la primera realización de un tipo de edificio pensado por Le Corbusier desde hace ya tiempo, el rascacielos cartesiano con función direccional, al que se aplicó entre otros puntos la cubierta jardín.

⁴ Manfred Köhler et al, Green roofs in temperate climates and in the hot humid tropics far beyond the aesthetics, p. 383, 2001.



Roberto Burle Marx es invitado por Lucio Costa a participar en el proyecto del MES, diseñando los jardines de la planta baja y la terraza. Este proyecto se convierte en un buen ejemplo de la cubierta verde intensiva en clima cálido.⁵

Los planteamientos de Le Corbusier señalan la utilización de la cubierta verde como un elemento de recreo e higiene así como para la captación de las aguas pluviales. Sin embargo el sistema tiene además ventajas visuales, ambientales, térmicas y acústicas. Para los fines de la investigación se profundizará más en las ventajas térmicas que aporta la utilización de la azotea verde.

Los techos vegetados comienzan a ser investigados en Alemania en los años 50as como parte de un movimiento que reconoció el valor ecológico y los beneficios de la flora y fauna. En los 60as se inician las investigaciones para las técnicas de crecimiento de las plantas en capas delgadas de sustrato, sin embargo, hasta los 80as hubo dificultades técnicas considerables para el sellado contra filtraciones y la penetración de raíz.

En los 70as fueron publicados en Alemania varios libros y artículos que promovieron las azoteas vegetadas, en particular por arquitectos y diseñadores que fueron más allá de la clase alta. El detonante fue un artículo publicado por el arquitecto paisajista Hans Luz, titulado “techo ecológico” ¿lujo o necesidad?, en el cual mencionaba los beneficios de la cubierta ajardinada como parte de una estrategia para mejorar el medio ambiente urbano. Desde la formulación de la distinción entre el sistema extensivo e intensivo a mediados de los 70as, el techo verde extensivo ha sido en centro de mas investigación.⁶

⁵ Benevolo Leonardo, Historia de la arquitectura moderna, G.G., Barcelona, p. 850-851, 1977.

⁶ Dunnett Nigel, Kingsbury Noel, Planting Green Roofs and Living Walls, Timber Press, p. 9-15, 2004.

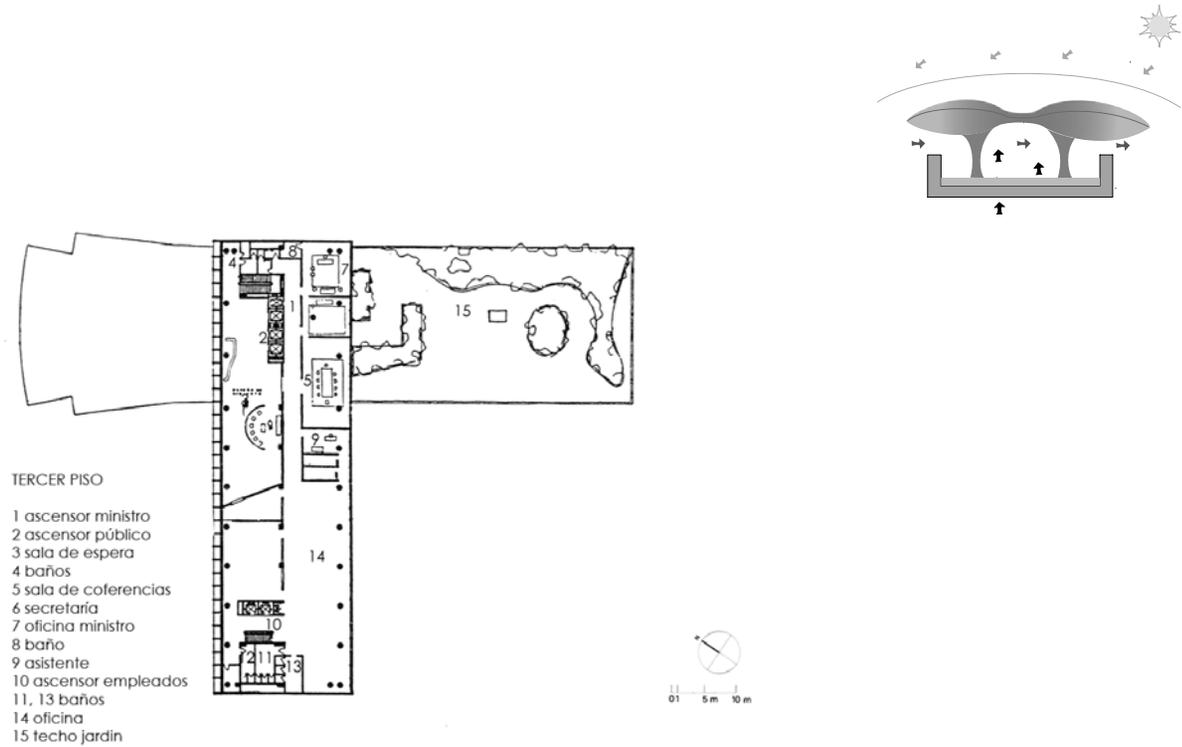
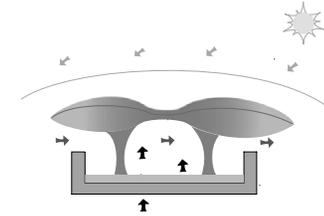


Imagen 2. Planta Tercer nivel y vista de la terraza jardín del Ministerio de Educación y Salud. Río de Janeiro Brasil.



Imagen 3. Vista aérea de la terraza del Ministerio de Educación y Salud en Río de Janeiro Brasil.



II. MARCO TEORICO

Para ahorrar energía en los sistemas de climatización es necesario adecuar la envolvente en la vivienda, con la finalidad de mejorar su comportamiento térmico; así mismo la correcta elección de los materiales desde el punto de vista térmico resulta de gran importancia cuando se busca reducir el consumo de energía por los medios mecánicos.

En la región cálida húmeda las paredes tienen menor importancia. Su utilidad principal es la de actuar como protección contra insectos sin impedir la penetración del viento. No actúan como barreras térmicas. La cubierta es donde tiene lugar los impactos térmicos más fuertes.⁷

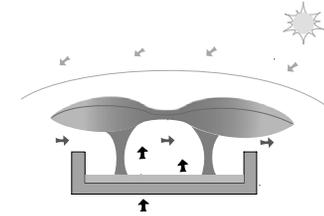
Las técnicas de enfriamiento natural han sido utilizadas a través de los siglos, pero su aplicación ha sido escasa en recientes años. La aparición del aire acondicionado, con el gran consumo de energía, ha iniciado las normas para utilizar alternativas de enfriamiento natural. Una amplia variedad de técnicas de enfriamiento se basan en el diseño alternativo de techos. La comunidad Europea recientemente ha contratado un proyecto de investigación (ROOFSOL: Soluciones para enfriamiento natural en la cubierta) centrado en la teoría y experimentación de análisis de diferentes soluciones de enfriamiento en cubierta en la región mediterránea, basados en los principios de enfriamiento evaporativo y radiativo.

La idea principal de proteger la superficie de un edificio es reducir los impactos energéticos por la radiación directa y difusa o aumentar el reflejo de la superficie. Pero estas soluciones pueden tener un efecto en las inmediaciones debido al proceso térmico. Porque la radiación no puede desaparecer. Una mejor solución para la radiación es la incorporación de fachadas y cubiertas ecológicas.

Los conocimientos científicos en azoteas verdes aún están limitados a climas templados, debido a un desarrollo que tuvo lugar en Europa desde principios del siglo XX; Sin embargo, desde el año 2000 es analizado un proyecto científico con parámetros locales en Río de Janeiro para obtener la posible vegetación y la composición del sustrato que puede utilizarse.⁸

⁷ Olgay Victor, Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas, GG, Barcelona, p 174, 1998.

⁸ Kohler M. et al, Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics. Far beyond the aesthetics, Environmental Management and Health, 13(4): p.382, 2002.

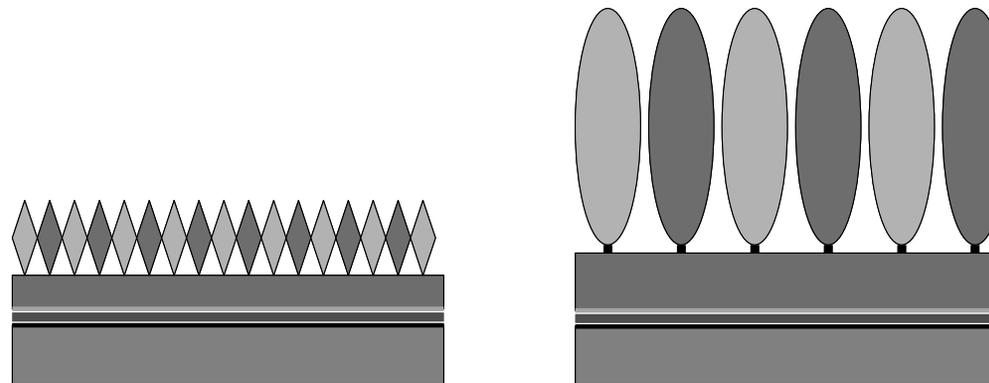


Las cubiertas verdes constituyen una solución para ser analizada. La vegetación que protege la azotea de la radiación solar directa podría enfriarla mediante el aumento de la evaporación. Esta solución es además compatible con los criterios: funcional, estético y ecológicos aplicados al diseño.⁹

SISTEMAS DE CUBIERTA VERDE

Existen dos grupos de cubiertas, las extensivas y las intensivas.

- A) Las extensivas o ecológicas son aquellas en las que el espesor de la capa de tierra es menor de 15cms. Las plantas utilizadas son de bajo porte y no suelen sobrepasar los 10-12 cm de altura. Por otro lado las necesidades de mantenimiento y riego son mínimas. Es conveniente para las pendientes de 0 a 30°.
- B) Las intensivas son aquellas en las que el espesor de la capa de tierra es mayor de 15 cms, dependiendo del tipo de plantación que se quiera colocar. No existe limitación en la elección de árboles y arbustos, excepto en los de gran potencial radicular. Requiere un mantenimiento periódico y riego. El ajardinamiento sobre garajes subterráneos y cubiertas dedicadas al ocio suelen pertenecer a este grupo.

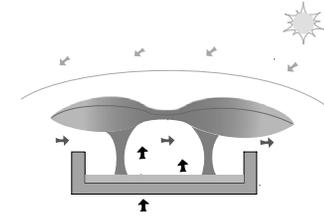


Cubierta extensiva

Cubierta intensiva

Imagen 5. Diferencias del sistema extensivo e intensivo.

⁹ Palomo Del barrio Elena, Analysis of the green roof cooling potential in buildings, Energy and buildings, 27, p.179, 1998.



ELEMENTOS

Los elementos de una cubierta verde varían dependiendo del clima, la región, el tipo de edificación y los materiales disponibles, los principales son:

- *Estructura de la azotea.* Es comúnmente de concreto reforzado debe ser capaz de soportar todas las capas de la cubierta vegetal.
- *Barrera corta vapor.* Es una capa de material, generalmente con espesor pequeño, ofrece una alta resistencia al pasaje del vapor.
- *Aislamiento térmico.* En función de la capa de tierra vegetal, no será necesario disponer de este elemento. Sin embargo, casi todas las cubiertas ajardinadas se resuelven con él para disminuir el peso.
- *Membrana impermeable.* Es una capa delgada que impide la penetración de líquido a la estructura de soporte, se utilizan capas de asfalto base agua o solvente, membranas de asfalto modificado o de PVC.
- *Capa separadora filtrante.* Que evite el paso de tierra vegetal y la inhibición de raíces. Por ejemplo, un fieltro sintético.
- *Capa drenante.* De 20 cms. de espesor mínimo de árido rodado, lavado y limpio, de diámetro de 16 a 32mm o capa drenante a base de lámina nodular de polietileno de alta densidad.
- *Capa de tierra.* Sustrato que suministra agua, nutrientes y oxígeno a las plantas y es soporte físico de la vegetación. Compuesto por materia orgánica y suelo mineral.
- *Vegetación.* En el caso de las cubiertas extensivas, debemos conseguir una agrupación vegetal estable en el tiempo con muy pocos cuidados. Mayoritariamente, se utilizan plantas suculentas, de fácil propagación, elevada resistencia a la falta de agua, a la radiación y a las temperaturas altas. Las especies locales es probable que requieran menos mantenimiento.¹⁰

¹⁰ Sanchez Ana, Gutierrez Ostiz, Cerramientos de edificios. Cubiertas, DOSSAT 2000, España, p. 113-115, 2005.

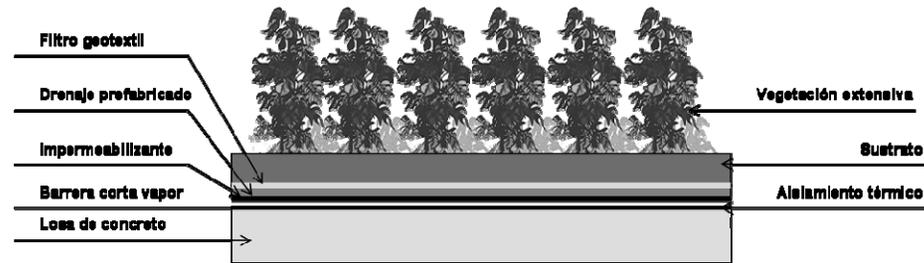
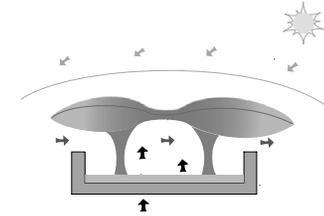


Imagen 6. Componentes de cubierta vegetal extensiva.

BENEFICIOS

Los principales beneficios de las cubiertas naturadas sobre el edificio son los siguientes:

- Reducen la conducción de la ganancia de calor a través de la estructura de la azotea.
- Dan mayor estabilidad en la temperatura interior.
- Funcionan como aislamiento acústico.
- Prolongan la vida de la impermeabilización.
- Permiten el aprovechamiento de una superficie.

Sobre el entorno:

- Mejoran la calidad del aire.
- Reducen el volumen de escurrimiento del agua pluvial.
- Retienen partículas contaminantes del aire adyacente.
- Incrementan la vegetación en áreas urbanas.
- Crean una mejora en el microclima local.
- Son un hábitat natural para aves y plantas.

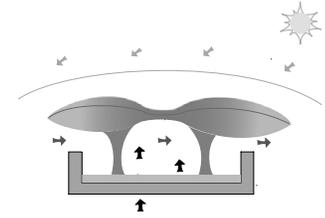
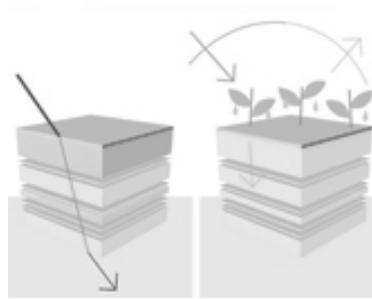


Imagen 7. Reducción de la ganancia de calor a través de la estructura y reducción del efecto isla de calor.

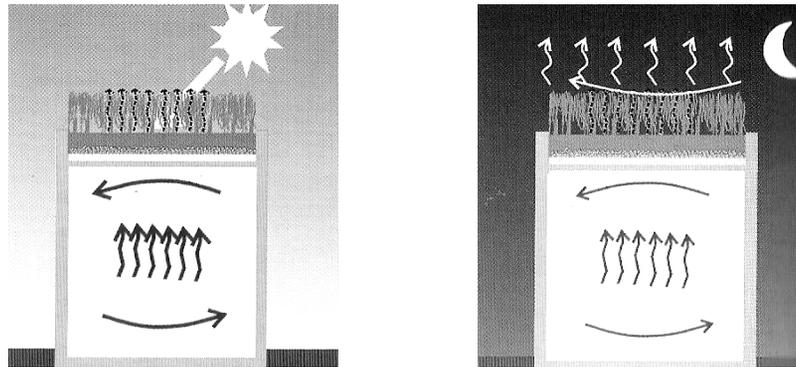
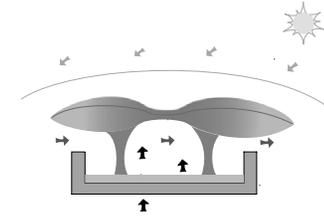


Imagen 8. Mayor estabilidad de la temperatura interior en el día y en la noche.



Las plantas afectan el microclima cercano de la cubierta en varias maneras:

1. Los flujos de calor por la radiación sensible y latente son espacialmente variables dentro del pabellón vegetativo de modo que:

- La penetración de la radiación solar de la onda corta es reducida;
- La radiación de la onda larga de la superficie a la atmósfera es interceptada;
- La velocidad del viento cerca de la superficie se reduce, y los efectos de la convección se disminuyen;
- La superficie de escurrimiento del agua pluvial es reducida sustancialmente.

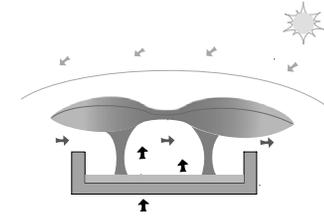
2. El almacenamiento de la energía sigue dos mecanismos diferentes:

- El calor sensible se almacena en la estructura de la azotea y en el suelo, así como en las plantas.
- La energía bioquímica es almacenada en las plantas.

3. El intercambio de calor latente ocurre en gran parte debido a la evapotranspiración desde las hojas de la planta.

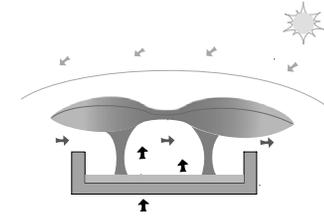
Una cubierta vegetal tiende a refrescarse y contribuir el efecto de limpieza sobre el aire adyacente, de esta manera contribuye a la mejora de microclimas urbanos. El efecto de sombreado y la evapotranspiración de las plantas tienen un efecto que refresca el substrato; sin embargo, el follaje de la planta puede inhibir la disipación de calor. La capacidad térmica del substrato puede proporcionar el almacenaje de calor y esto puede reducir y retrasar el efecto de la ganancia de calor desde la radiación solar y el aire del ambiente¹¹.

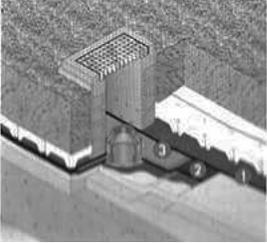
¹¹ Simos Llanas, Evyatar Erell, Molina Jose Luis, Roof cooling techniques a design handbook, EARTHSCAN, USA, p.59-60, 2006.

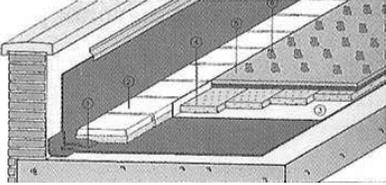


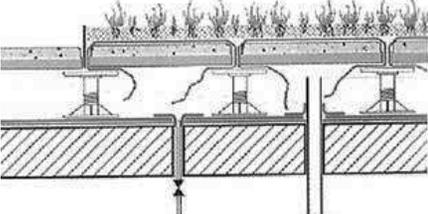
EJEMPLOS DE SOLUCIÓN EN PUNTOS ESTRATÉGICOS EN CUBIERTAS JARDIN.

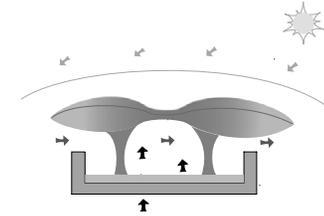
<p>DETALLE EN REMATE PERIMETRAL</p>	<p>Imagen 31.</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Membrana impermeabilizante. 2. Banda de refuerzo en ángulos. 3. Lámina impermeabilizante. 4. Perfil metálico (sellado por su parte posterior). 	
<p>DETALLE DE JUNTA ESTRCUTURAL.</p>	<p>Imagen. 32</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Banda de refuerzo en ángulos 2. Membrana impermeabilizante 3. Material de junta 4. refuerzo de lámina autoprotegida. 	



DETALLE DE DESAGUE	Imagen. 33
<ol style="list-style-type: none"> 1. Membrana impermeabilizante 2. Banda de refuerzo 3. Coladera de desagüe. 	

DETALLE CONSTRUCTIVO	Imagen. 34
<ol style="list-style-type: none"> 1. Membrana impermeabilizante. 2. Placas de concreto ligero mezclado con poliestireno expandido. 3. Membrana de retención de agua. 4. Capa de drenaje 5. Sustrato 6. Vegetación 	

DETALLE CONSTRUCTIVO AZOTEA ALJIBE (de abajo hacia arriba)	Imagen. 35
<ol style="list-style-type: none"> 1. Estructura existente 2. Filtro geotextil 3. Membrana impermeable de PVC 4. Estanque de agua con el apoyo de las capas superiores embebidas y la membrana textil absorbente. 5. Losa de concreto poroso y asilamiento. 6. Sustrato 7. Plantas (sedum) 	



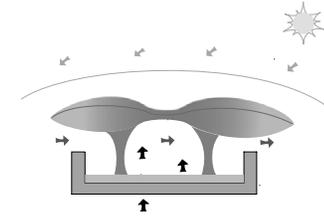
SISTEMA MONOCAPA.

Este es un sistema comúnmente utilizado por empresas internacionales.

1. Estructura de concreto reforzado.
2. Barrera vapor base agua o solvente. Si se requiere, calafateo y detalles de grietas con cemento plástico por ejemplo en bajada de aguas, domos y esquinas.
3. Membrana impermeable de asfalto modificado con doble armadura, una de fieltro de poliéster no tejido y otra de polietileno, integrado con preventol una sustancia para la inhibición de raíz.
4. Drenaje a base de un geocompuesto por una membrana de nódulos de poliestireno perforado y dos cubiertas de geotextil de polipropileno a ambos lados que permite el paso del agua.
5. Filtro
6. Sustrato.



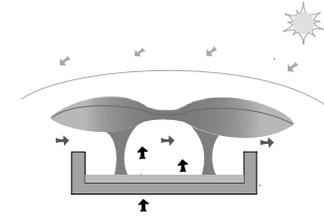
Imagen 36. Sistema monocapa



MODELOS DE ESTUDIO

Actualmente existen diversos modelos para el estudio térmico de las cubiertas verdes, es el caso de estudios realizados en Grecia, Estados Unidos, Italia y china entre otros. Unos utilizan modelos matemáticos, otros utilizan modelos numéricos de simulación (utilizando paquetería de cómputo) y algunos más utilizan modelos experimentales o una combinación de los anteriores.

1. En 1998 fue publicado un artículo de un modelo matemático desarrollado por Elena Palomo del Barrio en 1989, para estudiar los procesos térmicos que ocurren en cubiertas vegetales y evaluar el potencial que refresca en verano. Los objetivos del documento fueron dos: una propuesta de un modelo matemático para la representación del comportamiento térmico y dinámico de un albedo simplificado de cubiertas vegetales reales, y el análisis del potencial efecto de enfriamiento en el verano. Llegaron a las siguientes conclusiones:
 - La obtención de modelo matemático razonable, representación de un albedo simplificado del comportamiento dinámico térmico de una cubierta verde real ah sido propuesto, utilizando parámetros para análisis de sensibilidad.
 - Esto demuestra que un buen diseño y administración de la cubierta vegetal podría comportarse como un dispositivo de aislamiento de alta calidad en verano. Reduciendo el flujo de calor a través de la estructura.
 - El LAI representa el total de hojas de la superficie contenidas en una unidad de volumen y las distribuciones de las hojas.
 - Ambos parámetros determinan la función del albedo como un dispositivo de sombreado.
 - El espesor de la capa del sustrato, su densidad aparente, y su contenido de humedad determinan la difusividad térmica del suelo. Esto aumenta con la densidad aparente y disminuye con el contenido de humedad del suelo.
 - La transmisión de la onda corta es el único proceso del follaje que tiene un importante efecto en el comportamiento de la cubierta verde.



2. En el 2001 se publicó un proyecto elaborado en la ciudad de Loutraki, Atenas de nombre: “Un análisis de las propiedades térmicas e investigación del funcionamiento de la energía de techos verdes” (Niachou, A. et al, 2001) a través de la Universidad de Atenas.

La investigación fue implementada en dos fases: Durante la primera se realizaron mediciones de una cubierta verde extensiva, monitoreando la temperatura del aire en el interior y exterior y la temperatura del ambiente. La segunda fase del estudio consistió en la obtención de las propiedades térmicas del techo verde, como también, el estimado de la energía ahorrada a través de un acercamiento matemático.

Las mediciones experimentales fueron conducidas en el verano del 2000, en un hotel situado en la región de Loutraki, cerca de la cuenca de Atenas. El estudio de las propiedades térmicas, como también, del funcionamiento térmico se efectuó usando un código computacional y un modelo de simulación numérica.

Se utilizó una cámara de termógrafo infrarrojo para la ilustración termográfica de las temperaturas de la superficie, un termómetro infrarrojo para la medición interior y exterior de las temperaturas de la superficie y un termómetro psicrométrico para la medición de la temperatura del aire interior y exterior y la humedad relativa.

Para examinar el funcionamiento energético de los edificios con y sin techos verdes, fueron simuladas la conductancia térmica de zonas típicas de edificios de oficinas y fueron calculados los requerimientos energéticos durante todo un año. El número de energía requerido en aquellos edificios para calentamiento durante el invierno y enfriamiento en el verano Las simulaciones fueron implementadas por el uso del programa TRNSYS.

La transmitancia en cubiertas sin aislamiento con y sin techo verde varió de la siguiente forma.

Tabla 1. COEFICIENTE DE TRANSMITANCIA CON Y SIN TECHOS VERDES SIN AISLAMIENTO.

Tipo de cubierta	Espesor del concreto con doble capa cm.	Coefficiente de transmitancia $W/M^2 K$
Con vegetación	10-25	1.99-1.73
Sin vegetación	10-25	8.18-7.76

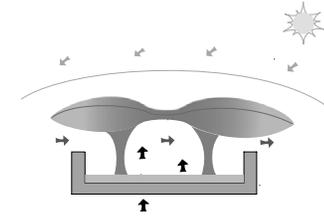


Tabla 2. COEFICIENTE DE TRANSMITANCIA CON Y SIN TECHOS VERDES CON AISLAMIENTO MODERADO.

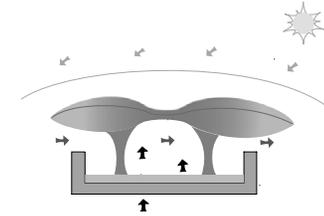
Tipo de cubierta	Espesor del material de aislamiento	Espesor del concreto con doble capa cm.	Coefficiente de transmitancia $W/M^2 K$
Con vegetación	5	5-15	0.59-0.55
Sin vegetación	5	5-15	0.8-0.74

Tabla 3. COEFICIENTE DE TRANSMITANCIA CON Y SIN TECHOS VERDES CON BUEN AISLAMIENTO.

Tipo de cubierta	Espesor del material de aislamiento	Espesor del concreto con doble capa cm.	Coefficiente de transmitancia $W/M^2 K$
Con vegetación	10	10-15	0.34-0.24
Sin vegetación	10	10-15	0.4-0.26

Tabla 4. PORCENTAJE DE AHORRO ENERGÉTICO PARA EL ESCENARIO ALTERNATIVO (CON VENTILACIÓN NOCTURNA)

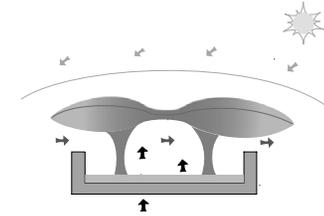
Descripción	Cambios de aire por hora	Porcentaje de ahorro energético
Con buen aislamiento	4-10	Casi nulo
Con aislamiento moderado	4-10	9 a 12%
Sin aislamiento	4-10	54 a 61%



Los datos revelan que los techos sin aislamiento térmico con vegetación y con cambios de aire por hora son evidentemente mejores debido a que reducen significativamente los gastos energéticos considerados para acondicionamiento de aire.

Las principales conclusiones a las que se llegó con este estudio fueron las siguientes:

- Las temperaturas de la superficie externa presentan una variación significativa dependiendo del tipo de la vegetación usada en cada sitio.
- Las temperaturas más bajas del techo verde tuvieron un rango de 26°C a 29°C y fueron medidas en los lugares dominados por vegetación verde y espesa.
- Las temperaturas más altas oscilan entre 36°C y 38°C y fueron medidas en lugares cubiertos por vegetación roja esparcida, mientras que los lugares sin vegetación más que el suelo, se acercaron a los 40°C.
- Los valores de temperatura del aire interior en el edificio con techo verde fueron menores durante el día.
- Las condiciones de confort interno en el edificio con techo verde fueron mejoradas en 2°C.
- Durante el período de verano en el edificio sin techo verde, el porcentaje de temperatura del aire interior que excedió el valor de 30°C fue del 68%, mientras que en el edificio con techo verde el porcentaje raramente alcanza el valor del 15%.
- El porcentaje de ahorro en energía (para techos con vegetación sin ventilación nocturna) considerado para calentamiento osciló desde el 9% en edificios con un buen aislamiento al 45% en edificios sin aislamiento.
- El porcentaje de ahorro en energía (para techos con vegetación sin ventilación nocturna) estimados para las cargas de enfriamiento mostraron un ahorro de energía de cero para los edificios con un buen aislamiento térmico y 45% en los que no contaban con aislamiento térmico.
- Con ventilación nocturna en los edificios sin aislamiento los ahorros en el consumo energético fueron estimados en un 44% con 4CAH, y 48% con 10CAH.
- La ventilación nocturna favorece la conservación de la temperatura del aire a bajos niveles, no solo durante la noche sino también durante el día.



3. En el 2003 se publicó un estudio llevado a cabo en Thessaloniki, Grecia de nombre: “Análisis del funcionamiento de un techo verde en verano como una técnica de enfriamiento pasiva.” (Theodosiou. 2003) a través de la Universidad de Aristóteles de Thessaloniki, Grecia en el cual utilizaron un modelo analítico experimental. El modelo analítico consistió en una versión modificada del modelo matemático de elementos finitos de Palomo del Barrio y se combina con una herramienta de simulación energética para edificios (Suncode P.C.) El modelo físico consistió en 21 nodos que registraban la temperatura de la superficie inferior del techo, la temperatura de la superficie del sustrato, las temperaturas de las capas interiores y cuatro sensores de temperatura permanentes que monitoreaban la temperatura ambiente, temperatura de la superficie de la hoja, temperatura del aire en el dosel y la temperatura interior.

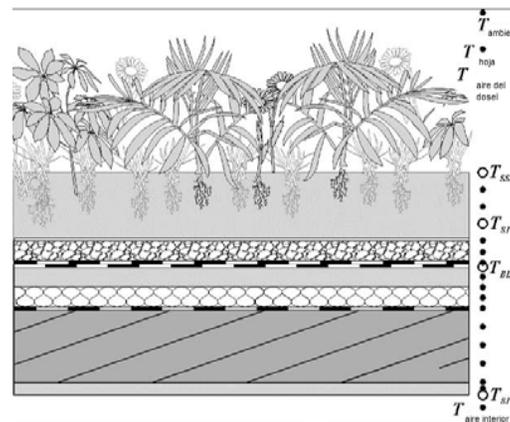
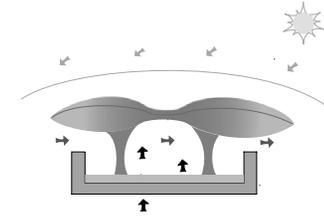


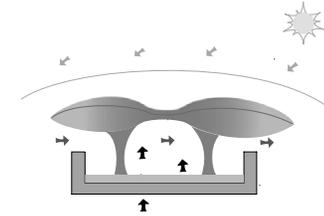
Imagen 9. Capas en el techo plantado, características y representación de nodos.

El flujo de calor fue considerado positivo cuando provino del edificio hacia la azotea verde (enfriamiento) y viceversa (calentamiento). El índice del área de hojas (LAI) fue igual a 3 y el follaje tuvo un promedio de altura de 0.3m.



Concluyeron:

- La altura del follaje se relacionó mucho con el sombreado de la superficie del suelo y los niveles de transpiración. El follaje alto contribuía a retirar la carga térmica interior del edificio. En contraste, un follaje corto permitía el calentamiento del aire del dosel que hizo invertir el flujo de calor.
- La densidad del follaje fue expresada por el índice del área foliar de las hojas. Un valor de 6 mejoró significativamente la capacidad de enfriamiento del techo verde. Esto se hizo más evidente durante los días calurosos porque el aire con altas temperaturas y baja humedad favorecían la transpiración e incrementaban los flujos de calor.
- El espesor de la capa de suelo es determinado por el tamaño y tipo de la vegetación. Durante todo el periodo de verano, los techos verdes con mayor capa-suelo proporcionaron enfriamiento al edificio.
- El aislamiento térmico es casi siempre requerido como resultado de la necesidad de proteger las capas de la construcción durante periodos de temperaturas bajas extremas. A todo lo largo del periodo de verano y en todos los escenarios examinados, la ausencia de aislamiento es la más efectiva decisión de diseño entre todos los demás parámetros.
- Una evapotranspiración continua conlleva a un incremento en la concentración de vapor en la zona del follaje. Para que siga habiendo el sistema de transpiración, los vapores tienen que ser extraídos al aire ambiental. Esto es realizado por el viento, que en un ambiente no saturado disminuirá la temperatura local.

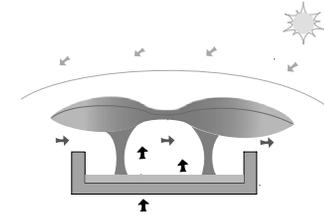


4. En el 2005 se publicó un proyecto realizado en Singapur de nombre: “Estudio del funcionamiento de una azotea verde extensiva en el clima tropical.” (Wong et al. 2005) Por la Universidad Nacional de Singapur.

El experimento consistió en la comparativa de las medidas antes y después de utilizar el sistema de cubierta naturalizada, para evaluar las diferencias significativas del comportamiento térmico. La medición fue realizada en dos periodos, (antes) y 8 meses (después) cuando la azotea tenía 4 diferentes sistemas de cubierta vegetal. Para ordenar las comparaciones fueron seleccionados días semejantes de los dos periodos, para la sesión del antes del 3-4 de junio de 2003 y del 22-23 de febrero de 2004; del 29 de febrero al 1° de marzo para la sesión del después. En la semana que incluye el periodo del 22-23 de febrero no hubo lluvia, debido a un periodo seco. El periodo del 29 de febrero al 1° de marzo de 2004 fue después de algunos días lluviosos. Esto es bueno para analizar el comportamiento de la cubierta con el sustrato relativamente mojado y seco.

Algunas conclusiones fueron:

- Las plantas usadas en la azotea verde tienen un impacto en el rendimiento de la azotea.
- La mayoría de los sustratos son de color oscuro, con la tendencia a absorber más calor durante las horas del día. [Esto indica que deben utilizarse sustratos mezclados con material poroso a fin de disminuir su conductividad térmica y procurar que las áreas estén bien cubiertas por la vegetación]
- La transferencia de calor a través de la losa es menor durante las horas del día debido a que el sistema extensivo puede crear temperaturas de la superficie de la losa sin mucha fluctuación. Pero es un poco mayor durante las horas de la noche. [por lo tanto es recomendable garantizar una buena ventilación para disminuir la temperatura interior durante las horas de 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 azotea fue reducido cerca del 60%.



- Las plantas utilizadas de la familia Crassulacea 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.

- Durante el verano de 2005 fue realizado un proyecto por Jeff Stone de nombre: Evaluación de una cubierta vegetal. Funcionamiento energético, en un edificio de la Universidad de la Florida Central, para comparar el rendimiento energético de una cubierta vegetal y una convencional.

El proyecto midió un total de 307m² de los cuales en la mitad se colocó una membrana de color claro, mientras que la otra mitad se colocó la misma membrana con una cubierta vegetal de pasto y plantas pequeñas nativas de la Florida que cubrían la superficie. El espesor del sustrato fue de 0.15m a 0.20m y la vegetación de hasta 0.60m de altura.



Imagen 10. Cubierta vegetal y cubierta convencional 18 de Agosto de 2005.

Se tomaron muestras de seis lugares, tres de la superficie convencional y tres de la cubierta vegetal, cuidando que la geometría, el drenaje, los niveles de aislamiento tuvieran las mismas características así como la ubicación de los sensores.

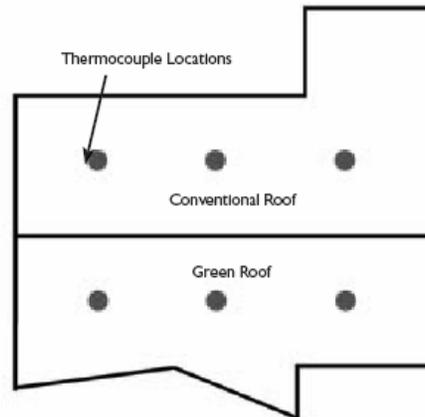
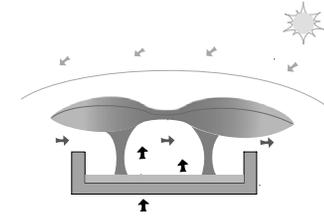


Imagen 11. Diagrama con la localización de los sensores.

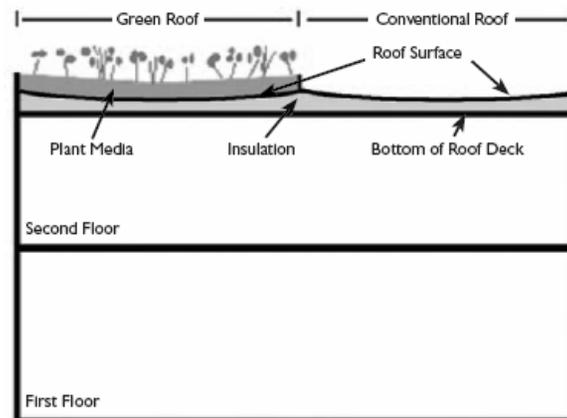
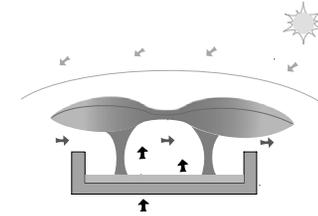


Imagen 12. Diagrama de una sección del edificio.

Se encontró que la cubierta vegetal puede reducir significativamente la temperatura de la superficie y el promedio de flujo de calor. La cubierta vegetal se regó dos veces a la semana aproximadamente durante 15 minutos, con agua pluvial captada.



Se realizaron pruebas de reflectancia el 18 de agosto de 2005, de acuerdo a las normas ASTM Standard E1918-97 methodology. Entre la cubierta convencional y la vegetal se obtuvieron 58% y 12% respectivamente.

Los aspectos energéticos de este estudio se centraron en la temperatura de la superficie y el flujo de calor entre la cubierta convencional y la cubierta vegetal. Las temperaturas medidas incluyeron la superficie de la cubierta, la superficie inferior de la cubierta, el aire interior y la superficie de las plantas. Las mediciones meteorológicas incluyeron la temperatura del aire ambiente, el total de la radiación solar horizontal, la precipitación, la dirección y velocidad del viento. El monitoreo inició en julio de 2005 y continuaron hasta julio de 2006.

Las temperaturas más altas de la superficie de la cubierta convencional se produjeron alrededor de la 1:00pm, mientras que las temperaturas más altas de la cubierta vegetal se produjeron alrededor de las 10:00pm.

El promedio mínimo de la temperatura de la superficie de la cubierta convencional fue de 22° C y 29° C para la cubierta vegetal.

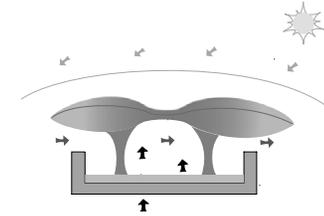
En el techo convencional las temperaturas son mas bajas durante las horas de la noche debido a que la superficie está expuesta directamente al cielo, mientras que la cubierta vegetal la cubren las plantas.

Tabla 5. FLUJO DE CALOR MÁXIMO POR TIPO DE CUBIERTA.

Tipo de cubierta	Flujo de calor máximo	Periodo
Cubierta convencional	9.15W/m ²	Primeras horas de la tarde.
Cubierta naturada	1.89W/m ²	Alrededor de media noche.

El flujo de calor máximo en la cubierta convencional se registró en las primeras horas de la tarde, mientras que en la cubierta vegetal se registró alrededor de la media noche.

El promedio del flujo de calor para la cubierta vegetal fue de 1.23W/m², contra 1.51W/m² para la cubierta convencional, es decir la cubierta vegetal obtuvo 18.3% menor flujo de calor.



Las diferencias más importantes se produjeron cerca de la mitad de los techos en los puntos más bajos de aislamiento.

Tabla 6. PROMEDIO DEL FLUJO DE CALOR ESTIMADO DEL 4 DE JULIO DE 2005 AL 1° DE SEPTIEMBRE DE 2005.

Ubicación	Cubierta naturada Flujo de calor Btu/h.ft ²	Cubierta convencional Btu/h.ft ²
Oriente	0.33	0.36
Centro	0.53	0.74
Poniente	0.31	0.34

6. En el 2006 se publicó un estudio realizado en Caracas, Venezuela de nombre: Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales: “Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales” (Vecchia et al. 2006) Por la Universidades Autónoma de Chiapas, México y Universidad de São Paulo, Brasil. El estudio fue de carácter experimental, a través de la medición comparativa de las temperaturas de dos techumbres en dos prototipos de prueba de igual construcción. Un techo tradicional compuesto por losa de concreto armado y otro alternativo con la aplicación de pasto sobre la cubierta.

Los resultados se obtuvieron por medio de las medidas de las temperaturas interiores y de superficies de las losas en las células de prueba.

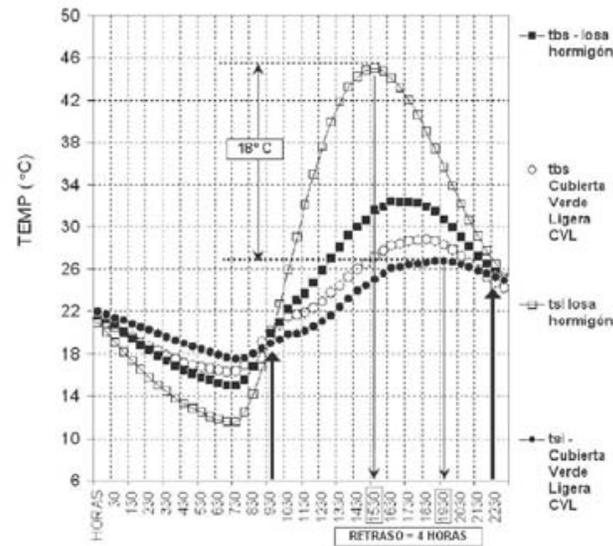
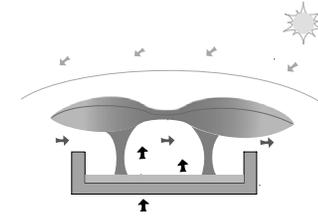
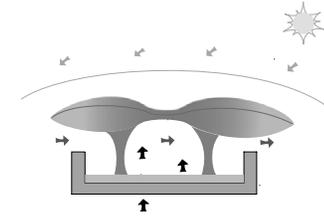


Imagen 13. Temperaturas superficiales de los prototipos de losa de concreto y cubierta verde. Episodio climático con poca humedad del aire ambiente.

En este trabajo concluyeron lo siguiente:

- El retraso verificado fue de 4 horas entre los valores máximos de las temperaturas superficiales de los dos prototipos y el amortiguamiento máximo de 6° C.
- El techo verde es factor de reducción de los cambios térmicos entre el exterior y el interior, pues actúa como elemento de retraso y de amortiguamiento térmico, sobre todo, en edificaciones de un nivel en que las techumbres son más vulnerables a los cambios térmicos.
- La superficie inferior del techo verde actúa como un elemento absorbente de calor del aire interior, pues, por ser menor su temperatura, consecuentemente, le roba temperatura al ambiente, principalmente en el período crítico, por la tarde. Contribuyendo a disminuir los valores de la temperatura interna del aire.



En todas las metodologías de cálculo hasta ahora revisadas, los valores que comúnmente se introducen y que se obtienen de las mediciones experimentales son: la temperatura superficial de la cobertura vegetal, la temperatura del aire dentro de la capa vegetal y la temperatura de la superficie interior medida en la capa mas interna de la cubierta del edificio. Sin embargo realizando un modelo experimental obteniendo los datos de la temperatura de la superficie exterior e interior del follaje, así como la temperatura de la superficie exterior del sustrato y la temperatura de la superficie inferior del soporte estructural se puede observar el comportamiento térmico de la cubierta.

INVESTIGACIÓN DE CUBIERTAS VEGETALES EN LA UNAM.

En julio de 1999 el Biólogo Jerónimo Reyes Santiago dirige la construcción del primer prototipo de cubierta vegetal en la azotea del edificio del área de colecciones del jardín Botánico, UNAM bajo el patrocinio de la CORENA D.F., con recursos del Banco Interamericano de Desarrollo, con un monto total de \$260,000.00 para 250m², solo en la fase de construcción y acondicionamiento con sustrato ya que las plantas se obtuvieron del mismo jardín botánico. Este mismo año se construyeron más azoteas verdes en la casa popular en Contreras, Viaducto, CICEANA de los viveros de Coyoacán.

Hasta el 2006 se acuerda con la empresa Motzorongo de la Lic. Teresa Machado el patrocinio para la construcción de nuevas azoteas verdes en el Jardín Botánico de la UNAM, a cambio de construir otros dos sitios en sus edificios. Durante 9 años y hasta la fecha, se ah dedicado a perfeccionar las técnicas de construcción, los materiales, revisión estructural e identificar las mejores especies vegetales, con el objetivo principal de disminuir el costo y hacerlo más factible para construcciones de vivienda. Las pruebas se han realizado principalmente con materiales hechos en México. Hasta el momento se han detectado varias especies que tienen un excelente comportamiento en el clima de la Ciudad de México. Algunas de estas son de la familia *Crassulaceae*, *Agavaceae* y *Cactaceae* e inclusive se ha comprobado lo eficiente de cultivar especies comestibles en la azotea. También se han obtenido resultados significativos en el crecimiento y adaptación de la vegetación en un sustrato de 5cms de espesor.¹²

¹² Notas de asesoría Biol. Jerónimo Reyes Santiago.

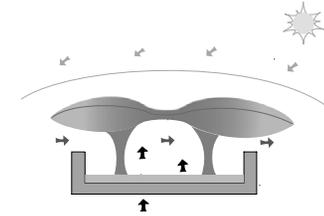


Imagen 14. Sistema simple utilizado en dos azoteas del Instituto de Biología.

SISTEMA SIMPLE

1. Estructura de concreto reforzado.
2. Colocación de un primario base agua.
3. Impermeabilizante a base de polvo de llanta reciclada, mezclado con solvente base agua de 3mm de espesor.
4. Malla de poliéster para proteger la impermeabilización de la fricción por el paso de partículas.
5. Segunda capa de polvo de llanta reciclada. (Se estabilizó de 15 días a un mes para evitar la absorción de partículas o gases a las plantas).
6. Malla de polipropileno negra utilizada como Antirraíz.
7. Capa de 2cm de tepojal cernido 1 cm de granulometría.
8. Segunda capa de malla de polipropileno utilizada como filtro para evitar el paso de partículas finas, (puede utilizarse un geotextil).
9. Sustrato orgánico muy degradado de 5cm de espesor, mezclado con tepojal cernido, nutrientes y polímeros para retener agua.
10. Plantas principalmente de las familias Crassulaceae, agavaceae, cactaceae y especies comestibles.

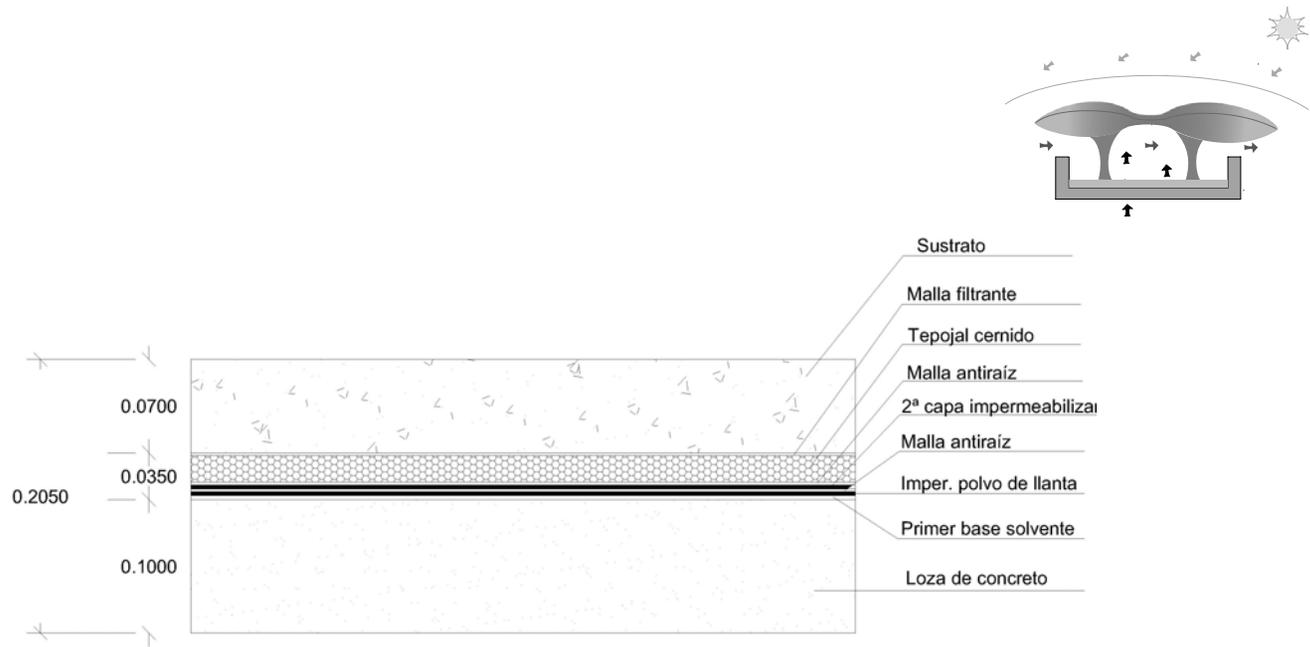


Imagen 15. Sistema simple.



Imagen 16. Imperm. De polvo de llanta reciclada.



Imagen 17. Drenaje a base de tepojal cernido.



Imagen 18. Colocación de sustrato

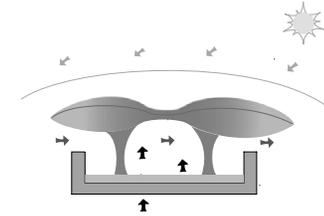


Imagen 19. Experimento. Utilización de algunas especies de Crasuláceas y Agaves.

SISTEMA COMPUESTO

Ejemplo 2. Sistema Compuesto utilizado en un edificio Eje central No. 425, Distrito Federal.

1. Estructura de concreto reforzado.
2. Colocación de un primario.
3. Impermeabilizante a base de polvo de llanta reciclada, mezclado con solvente base agua de 3mm de espesor.
4. Geomembrana de PVC con alma de fibra poliéster.
5. Malla de polipropileno negra utilizada como Antirraíz.
6. Dren prefabricado de polietileno.
7. Filtro de geotextil no tejido.
8. Sustrato orgánico muy degradado de 10cms de espesor, mezclado con tepojal cernido, polímeros, nutrientes.
9. Diversas especies de plantas. (Agaves, cactáceas, sedum, exóticas etc.)

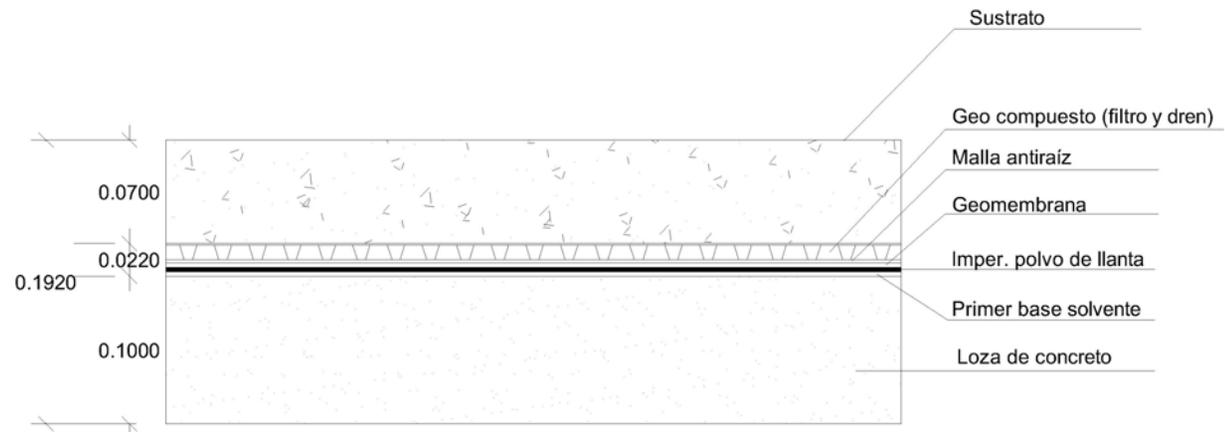
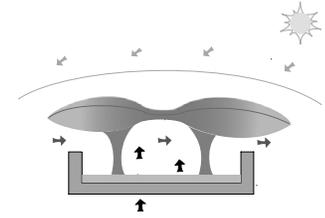
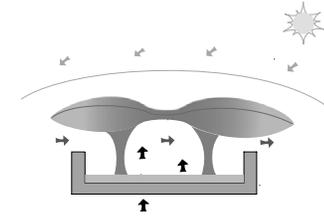


Imagen 20. Sistema compuesto



Imagen 21. Cubierta con utilización de algunas especies de cactus y agaves.



En ambos experimentos las especies se adaptaron rápidamente, una de las razones fue porque se instalaron dentro de los meses más favorables para el desarrollo de las plantas que son de marzo a octubre. Otra más es por la composición del sustrato el cual incluye nutrientes orgánicos, así también las especies elegidas presentaron gran adaptación lo cual avala su gran potencial para el proyecto.

SISTEMA MEJORADO

1. Estructura de concreto reforzado.
2. Barrera corta vapor base agua o solvente.
3. Membrana impermeable prefabricada de llanta reciclada de 3mm de espesor.
4. Malla de polipropileno negra utilizada como Antirraíz.
5. Drenaje a base de un tepojal cernido de 2cms de espesor.
6. Sustrato
7. Vegetación

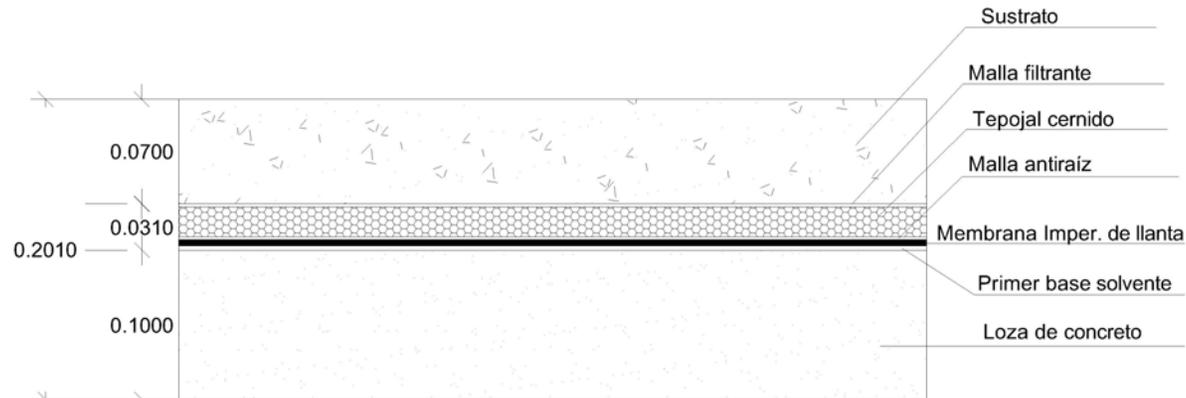
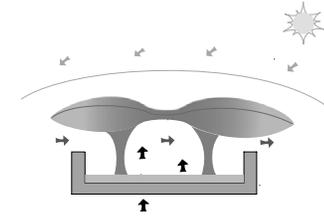


Imagen 22. Sistema mejorado.



RETENCIÓN DEL AGUA PLUVIAL

En la XXXVIII congreso Internacional de la Federación de Arquitectos Paisajistas se presentó un artículo realizado por Manfred Kohler et al, de nombre: Retención del agua de lluvia urbana por cubiertas verdes en clima templado y tropical. Algunos datos relevantes son los siguientes:

Hay algunas diferencias para ser observadas en los trópicos:

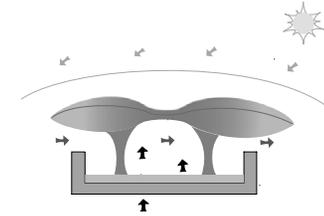
1 Las tormentas son más comunes en los trópicos cálidos húmedos comparados con los climas templados.

- Se debe evitar la erosión en techos verdes recién aplicados.
- La rápida saturación del sustrato tiene que ser considerado.

2 Las altas temperaturas en todo el año y un periodo de vegetación los doce meses.

- El aumento de la biomasa es más elevado sobre todo cuando los contaminantes del aire urbano fertilizan el techo a través de la lluvia. Esto podría complicar la función del drenaje del sustrato, pero presumiblemente incrementaría la tasa de retención de los techos debido a la mayor superficie de las plantas.
- La cubierta podría convertirse en un hábitat de animales peligrosos, principalmente insectos como el mosquito. Para esto se ha venido haciendo una cuidadosa verificación de las posibles plantas, Bromelias por ejemplo; se debe evitar la capacidad de retención del agua.
- La tasa de evaporación es alta, la evapotranspiración trabaja todo el año.

Hasta ese momento se encontraban en construcción 5 prototipos de cubiertas en Río de Janeiro, cuatro de estas son cubiertas verdes, una es la referencia del techo convencional. Las cubiertas verdes varían en espesor y la composición del sustrato. Los primeros resultados se publicaron en Brasil durante la ENCAC 2001.



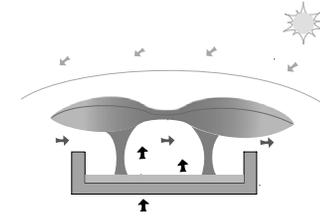
La retención del agua de lluvia es otra importante ventaja de las cubiertas naturadas. Lo que significa una importante disminución de la ingreso del agua de lluvia en el sistema de alcantarillado y evitar la sobrecarga del sistema, lo que puede causar inundaciones y serios problemas de salud. Un ejemplo reciente del uso de las cubiertas verdes con este fin es la Platz Potsdamer en el centro de Berlín, donde el 100% del agua de lluvia ha sido evaporada o utilizada para los wc en la obra.

Un estudio realizado en Alemania y Río de Janeiro de nombre: Cubiertas vegetales en climas templados y en los trópicos cálidos húmedos. Más allá de lo estético (Kholer et al 2002), da a conocer los siguientes datos:

Las cubiertas verdes significan algo más que otro tipo de superficie en los edificios. Los científicos trabajan para dar un mejor entendimiento de la situación y la influencia de la urbanización en el agua, los ciclos de energía y los cambios de las funciones del hábitat. La investigación de los efectos de las cubiertas verdes en climas templados es muy desarrollada. Estema se ha iniciado en los trópicos, las consideraciones teóricas pronostican un enorme potencial para esta tecnología. Ahora estas consideraciones tienen que ser probadas prácticamente. El proyecto de cooperación entre Alemania y Brasil es el primero e importante paso hacia ello.

Las Inundaciones y la escasez del agua, deben ser especialmente tratados en el trópico cálido húmedo. En Rió de Janeiro así como en otras ciudades de Brasil estos problemas son comunes. Incluso la enorme red de alcantarillado y el sistema de canalización están sobrecargados por el volumen máximo de aguas pluviales. Las cubiertas verdes pueden considerarse como una posibilidad para reducir la carga máxima. Utilizando sustrato poroso y una tasa de retención de por lo menos el 80%.

Con respecto a varios resultados de estudios en Alemania, la tasa de retención temporalmente durante las tormentas fue siempre a lo menos del 90% de la intensidad de la precipitación. La tasa de retención anual para Alemania es de 50-75% del total de la precipitación. Este valor difiere dependiendo de las condiciones locales de la relación y distribución entre la precipitación y la evaporación. En climas tropicales, la absoluta evapotranspiración de las cubiertas verdes es comparativamente superior. Para Río puede esperarse una tasa de retención anual del 65% alrededor de 900mm de la precipitación. Los análisis de fotografía aérea de Maracaná distrito en Río de Janeiro, donde se encuentra el proyecto de investigación, muestran una tasa de



aproximadamente el 80%. El área tiene un tamaño de 142 ha. Un distrito de similar densidad en Berlín tiene un potencial para la saturación de azoteas del 20% de la superficie total. Considerando una evapotranspiración anual de 900mm puede esperarse una retención de alrededor de 1800m³/ha, este valor se aplica a un enfriamiento del clima del centro de la ciudad de 6 millones de Kwh. por ha al año.

La retención de agua, causada por la evapotranspiración de las plantas y de la capa de tierra es el principal aspecto para la reducción de la temperatura de los edificios. Las cubiertas naturales producen una evaporación entre 60-79% de la precipitación anual retenida. Este valor es aplicado a Berlín con una relación de precipitación a evaporación potencial de 550-600mm en los edificios estándares. El escurrimiento de la precipitación de una cubierta impermeabilizada es aproximadamente el 90%.

La precipitación retenida de las cubiertas verdes se evapora directamente en la superficie del tejado o es transpirada por las plantas. Para la evapotranspiración de esas precipitaciones, es necesaria energía. Este proceso físico genera el llamado enfriamiento evaporativo con 2450J/g H₂O. La tabla muestra las tasas aproximadas de 300 kWh/m² de enfriamiento al año en Alemania. Para países tropicales, los valores se esperan más altos enfriamiento debido al aumento de las precipitaciones y tasas de evapotranspiración.

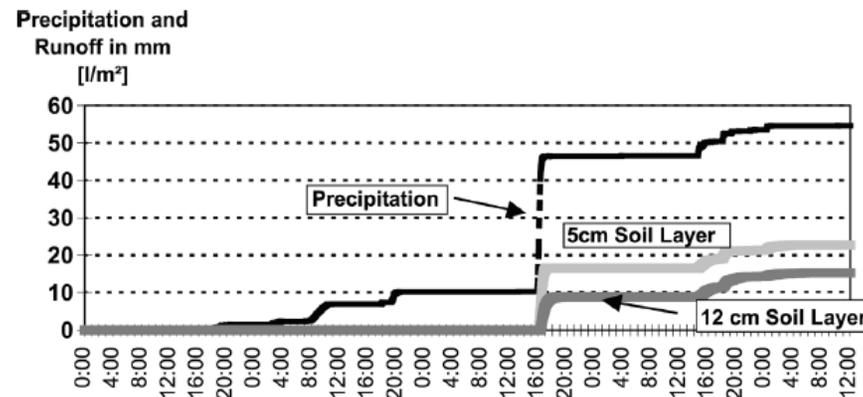


Imagen 23. Reducción del escurrimiento de lluvia en cubierta vegetal extensiva. Comparación de diferentes espesores de sustrato.

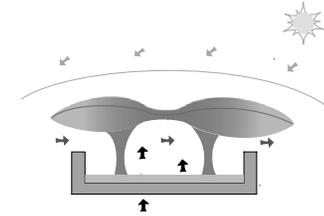


TABLA 7. PRECIPITACIÓN, ESCURRIMIENTO, Y MEDIDAS POTENCIALES DE EVAPOTRANSPIRACIÓN Y ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO EN CUBIERTA VEGETADA.

Año	Precipitación	Escurrimiento mm	Escurrimiento %	Pot ETP mm	ETP medida en mm	Enfriamiento (kWh/(m ² *a))
1987	702	179	25.5	641	523	356
1988	595	157	26.4	696	437	298
1989	468	98	20.9	750	370	252

Las cubiertas naturadas pueden ayudar a evitar inundaciones debido a la capacidad de retención de las lluvias tropicales, que a menudo son caracterizadas por ser grandes cantidades en un periodo corto de tiempo.

Lo que aún debe analizarse detenidamente es la tasa de retención que depende principalmente de factores, como el espesor de la capa de sustrato, el volumen de porosidad y el grado de saturación.

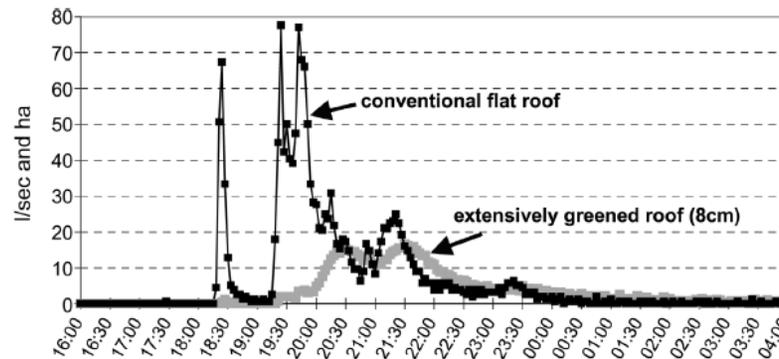
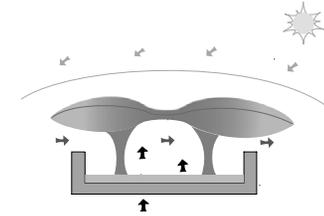


Imagen 25. Retención de agua y la demora en el drenaje de una cubierta verde de 8cms de capa de tierra comparada con una cubierta plana en Berlín.

Las tasas de retención del agua pluvial registradas en Alemania durante 100 años han sido de 60-80mm/h.



Un problema común en los climas templados es la pérdida de evaporación durante el periodo de invierno debido a las temperaturas comúnmente por debajo de los 0°C. Esta disminución de la retención del agua de lluvia no se ve en los climas tropicales debido a las temperaturas altas.

También se garantiza una mejor calidad de las aguas superficiales, ya que reduce la contaminación causada por el escurrimiento del agua de lluvia combinada con el desbordamiento del alcantarillado.

Todavía hay algunas investigaciones en desarrollo para la aplicación de esta tecnología en las zonas tropicales cálidas húmedas. Se prestará especial atención en la flora y la fauna, debido a posibles problemas de higiene por ejemplo: el mosquito utiliza pequeñas masas de agua como cuna.

Los primeros resultados y los cálculos teóricos permiten la conclusión de que cubiertas verdes podrían ser interesantes para las zonas tropicales y subtropicales, como para climas templados.

REDUCCIÓN TÉRMICA DE LA CAPA VEGETAL

En el 2008 se publicó un estudio realizado en Taiwán de nombre: Evaluación del efecto de reducción térmica de la capa vegetal para azoteas verdes donde se examina el efecto de la reducción térmica (TRR) de la capa vegetal sobre las azoteas a través de experimentos realizados en un medio controlado y en el exterior para confirmar los datos. El estudio ofrece una sencilla sugerencia implementada para el aislamiento térmico utilizando techos verdes.

Las plantas utilizadas en este estudio son comúnmente usadas como ornamentales en los climas de la región tropical y subtropical donde las especies deben ser vigorosas.

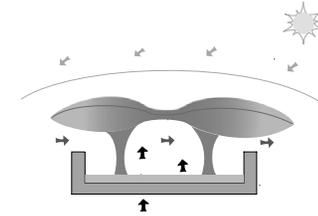


Tabla 8. ESPECIES UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO.

Nombre científico	Nombre común
<i>Codiaeum variegatum</i>	Croto
<i>Cordyline terminalis</i>	Dracena
<i>Ixora Duffii</i>	Ixora

Los parámetros usados fueron la cobertura promedio (CR) y el grosor total de la hoja (TLT). Para medir la cobertura se utilizaron 25 cuadrículas de zonas de cultivo de 8 x 8 cm, el porcentaje promedio fue calculado dividiendo el número total de las zonas cubiertas por las plantas entre el número total de cuadrículas. Para el cálculo del espesor total de la hoja se eligieron aleatoriamente 10 hojas y se midieron sus espesores utilizando un micrómetro obteniendo un promedio.

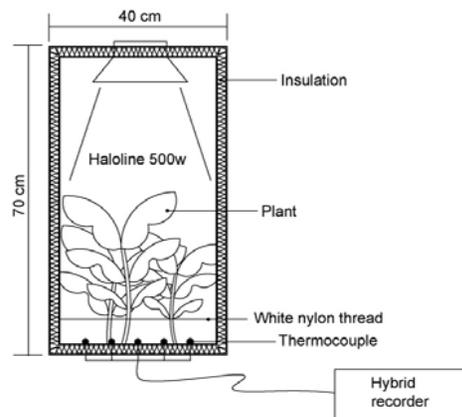


Imagen 26. Sistema de medición interior.

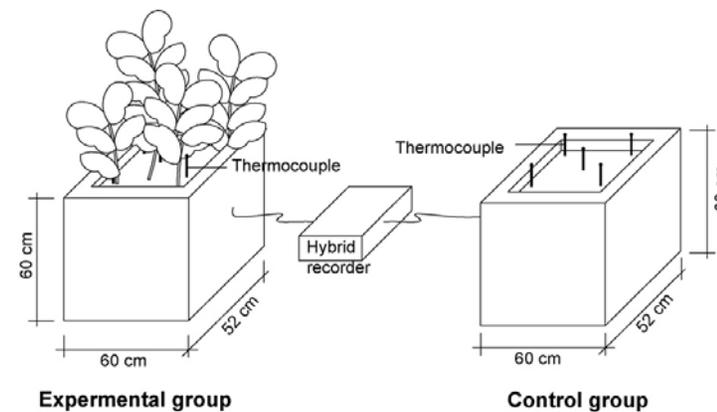
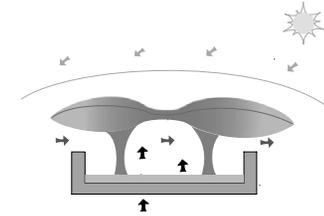


Imagen 27. Sistema de medición exterior.



El estudio se efectuó en dos experimentos, el primero se creó en el interior de una cámara con una fuente de luz estable, las plantas se colocaron dentro de la cámara con una fuente de luz estable de 500W en la parte superior para proporcionar la energía térmica, se cubrió con asilamiento térmico para evitar la interferencia de la temperatura y luz ambiental. Se colocó un plástico negro en la parte inferior y 4 termopares conectados a un adquisidor de datos.

Los termopares fueron colocados con un margen de error de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ e intervalos de 30s por medida. El segundo experimento se realizó en el exterior, el sustrato fue removido para eliminar el efecto de la conductividad térmica del suelo.

Tabla 9. CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS USADAS EN EL EXPERIMENTO.

Tipo de experimento	Características de las plantas			Estatus experimental		
	Especie s de plantas	Promedio de espesor por hoja (mm)	Altura de plantas (cm)	Radio de cobertura de la planta (%)	Capa vegetal	Temperatura de fondo
Experimento interior	Codiaeum variegatum	0.45 \pm 0.04S.E.	60	100,80,60,40,20	1-7	28
	Cordyline terminalis	0.23 \pm 0.005S.E.	75	100,80,60,20	5, 8	28.2
	Ixora duffii	0.35 \pm 0.011S.E.	65	100, 80, 40, 20	1, 4, 6, 8	28.5
Experimento exterior	Codiaeum variegatum	0.45 \pm 0.4S.E.	60	70	6	25.6
	Cordyline terminalis	0.23 \pm 0.005S.E.	70	50	6	26
	Duranta repens	0.27 \pm 0.014S.E.	50	100	5	24.1
	Ixora duffiii cv.	0.35 \pm 0.011S.E.	70	90	8	29.6

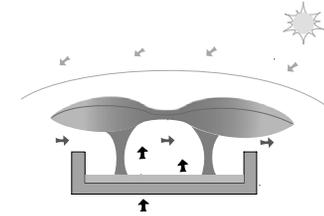


Tabla 10. CR, TLT Y CAPAS DE VARIAS PLANTAS REQUERIDOS PARA ALCANZAR UN 80% DE TRR

Especies	Promedio de espesor por hoja (mm)	40% ^b (TLT ^c : 2.93 mm)	50% ^b (TLT ^c : 2.7 mm)	60% ^b (TLT ^c : 2.46 mm)	70% ^b (TLT ^c : 2.03 mm)	80% ^b (TLT ^c :1.89 mm)
Hymenocallis speciosa	0.68	4	4	4	3	3
Garcinia subelliptica	0.49	6	6	5	4	4
C. variegatum cv.	0.45	7	6	5	5	4
C. terminalis cv.	0.35	8	8	7	6	5
Acalypha wilkesiana	0.34	9	8	7	6	6
Rhapis excelsa	0.23	13	12	11	9	8
D. repens cv.	0.20	15	14	12	10	9
Rhapis excelsa	0.16	18	17	15	13	12
D repens cv.	0.27	11	10	9	8	7

^b Coertura

^c El mapa TRR sugiere el TLT y CR de las plantas para producir 80% de TRR.

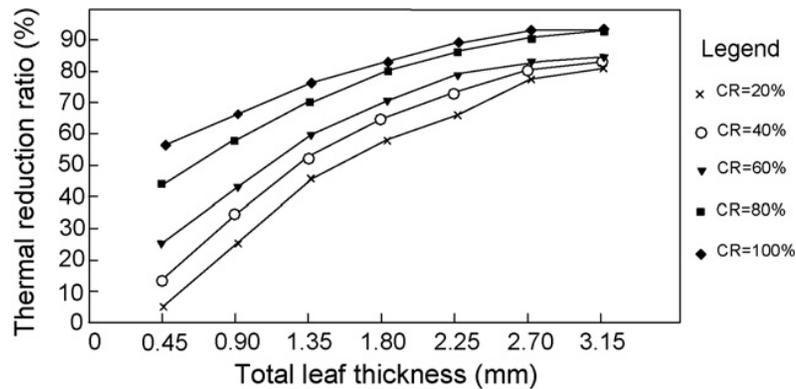


Imagen 29. Reducción térmica para varios CR y TLTs de *Cordiaum variegatum*

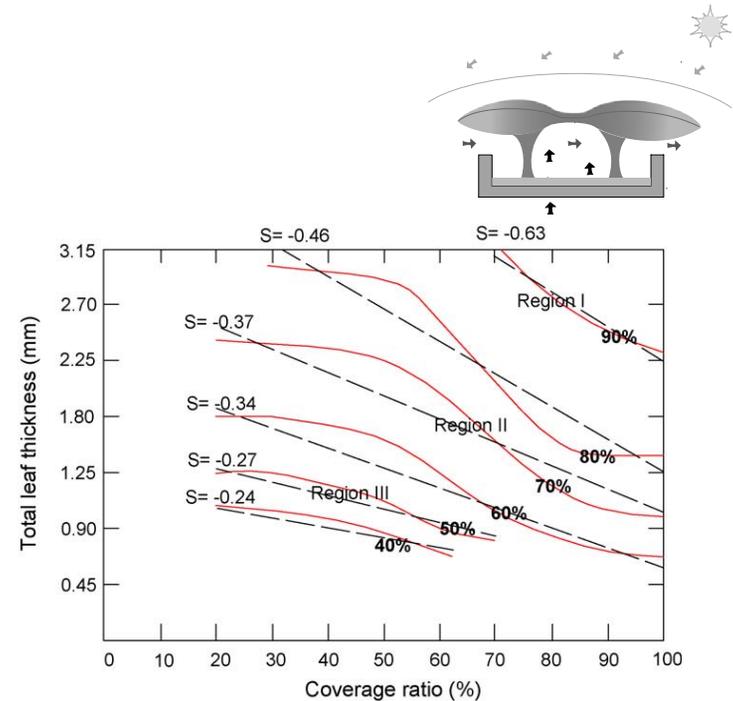
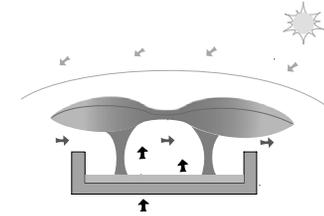


Imagen 30. Mapa de la reducción térmica promedio por plantas.

Las conclusiones que alcanzaron fueron las siguientes:

- 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.



MATERIALES INERTES UTILIZADOS EN LA CUBIERTA NATURADA.

Impermeabilizante: Se pueden utilizar materiales bituminosos como productos a partir de polietileno, membrana asfáltica modificada o caucho sintético, con un cierto contenido reciclado. Sin embargo no es recomendable el uso del PVC por alto impacto ambiental.

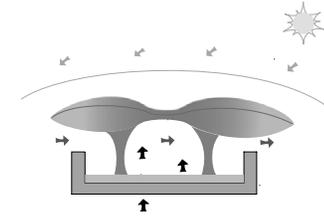
Anti raíz: Puede ser una membrana de polietileno de alta densidad o de asfalto modificado reforzado con poliéster y gránulos cerámicos. También puede consistir en aditivos de cobre o arsénico en la membrana impermeabilizante

Drenaje: Se puede realizar con fibras de polipropileno reciclado, paneles de polietileno reciclado o polímeros no biodegradables. En otros sistemas la capa de drenaje está formada por placas de poliestireno perforado o algún material poroso que no exceda de 1cm de granulometría como la perlita, vermiculita, agrolita, piedra pómez, tepojal, tezontle. La elección del material será en función de la existencia, disponibilidad y proximidad de este a la zona de instalación de la cubierta vegetal.

Filtro: Evita que el suelo tapone la capa de drenaje, puede ser un material geotextil realizado a partir de fibras de poliéster.

Sustrato: En las cubiertas extensivas es recomendable una proporción del 60% de tierra compuesta (75% de suelo mineral y 25% de suelo orgánico) o se puede utilizar vermicomposta (abono de lombriz) y 40% de material poroso. Debe agregarse un fertilizante orgánico o composta muy degradada como el estiércol de vaca o borrego cada 2 años debido a que el material se degrada. Si se utiliza un fertilizante químico, puede salinizar el sustrato y como consecuencia deshidratar las plantas.¹³

¹³ Notas de asesoría Biol. Jerónimo Reyes Santiago.



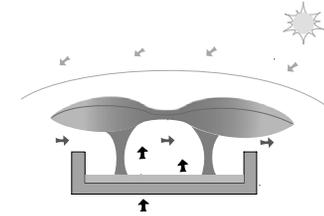
III. CRITERIOS DE DISEÑO TÉRMICO PARA CUBIERTA NATURADA

- 1) Seleccionar plantas con amplia cobertura de follaje (LAI)¹⁴.
- 2) Desarrollo con una hoja de distribución horizontal, principalmente para garantizar una baja transmisión de la radiación solar.
- 3) Seleccionar suelo ligero, que reduce la conductividad térmica y el peso. Utilizar mezclas de suelo con un material poroso disponible en capas de 7 a 10 cm, dependiendo de los requerimientos de la vegetación que se utilice.
- 4) Mantener el contenido de humedad en el suelo a fin de que la evaporación en la superficie no sea limitada. Lo ideal es utilizar especies que solo se mantengan por lluvia, sin embargo cuando la precipitación se presenta en una época del año puede utilizarse el agua de lluvia captada en los meses abundantes para realizar un riego por goteo o por aspersión debido a que las hojas utilizan la humedad del ambiente.

CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DE LA VEGETACIÓN:

- Capacidad para soportar temperaturas extremas y exposición directa del sol.
- Capacidad para soportar periodos largos sin riego, mínimo 7 días.
- Capacidad para crecer en suelo poco profundo, es decir con tipo de raíz fasciculada.
- Capacidad de crecimiento horizontal para tapizar la cubierta.
- Porte mediano de 15 cm a 1m.
- Mínimo mantenimiento, deshierbe y poda de una a dos veces por año.

¹⁴El Índice de área de Hoja (LAI) es el área total de hojas (sólo en una cara) contenida en un volumen de unidad base.



La cubierta vegetal es un material activo es decir interactúa con las condiciones climáticas del sitio donde se encuentre, por lo tanto deben considerarse los factores del medio ambiente que la rodean como son: temperatura, humedad, radiación solar, precipitación, evaporotranspiración, velocidad del viento, entre otros.

LOS PARÁMETROS AMBIENTALES MÁS IMPORTANTES:

- El flujo de radiación solar.
- El flujo de radiación térmica que viene del cielo.
- La humedad y temperatura contenida en el aire.
- La velocidad del viento y su dirección.

PARÁMETROS TÉRMIFÍSICOS Y ÓPTICOS.

Vegetación

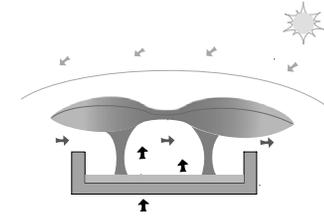
- Absortancia
- Emitancia

Materiales inertes

- Conductividad térmica
- Calor específico

Sustrato

- Conductividad térmica
- Calor específico
- Densidad

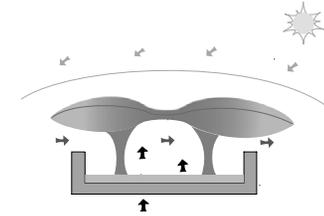


Para calcular el flujo de calor a través de la cubierta es necesario conocer el valor de la conductividad térmica de la capa vegetal y el sustrato, esto se conoce como la conductividad térmica equivalente. Otro factor importante para conocer el comportamiento de la cubierta es el efecto de enfriamiento evapotranspirativo respecto a la radiación durante el día y a la ventilación en el periodo nocturno, que afecta la temperatura sol-aire de la superficie. (Machado et al 2003).

Las características de la vegetación desde el punto de vista de los impactos de la transferencia de calor a través de la azotea son: altura, índice de área foliar (LAI), albedo y resistencia estomática. El LAI indica el área de cobertura de las hojas. Los valores de LAI para cubiertas verdes varían dependiendo del tipo de planta, pero es generalmente en el rango de 0.5-5.0. LAI representa la fracción de la superficie del techo que está directamente cubierto por una o más hojas. El albedo es la reflectancia de la superficie de la energía solar incidente sobre la superficie de las plantas y la emisividad de la hoja es la proporción de la radiación térmica emitida desde su superficie.

La resistencia estomática es un parámetro biofísico que determina el ritmo al cual la planta puede transpirar humedad a través de sus hojas por una condición ambiental dada. Valores de resistencia estomática se encuentran en el rango de 50.0-300 s/m.¹⁵

¹⁵ Sailor D.J. Un modelo de cubierta verde para programas de simulación de energía en edificios, *Energy and Buildings*, 40, 1466-1478, USA (2008).



IV. MODELO DE ESTUDIO

IV.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO.

Consiste en un modelo matemático-experimental, con el objetivo de obtener la temperatura interior y el flujo de calor del edificio actual y simulando la cubierta natural, el cual, consiste en realizar una estimación a través de una metodología de cálculo para obtener la temperatura interior de la habitación con la utilización de una cubierta vegetal y hacer una comparativa con la cubierta original (expuesta).

Consta de la utilización de los datos reales del SMN de temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento a cada hora para el día de diseño y los datos de radiación solar horaria mediante la aplicación del programa SOLAR de radiación y gráficas solares (Balderas, 1998) el cual utiliza el promedio mensual de radiación máxima (Fernández Sayas y Estradas-Cajigal 1983), y el programa de temperatura y humedad (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 los datos de latitud, longitud y altitud del lugar. Se realizarán pruebas térmicas y ópticas de los materiales inertes elegidos las cuales son: calor específico, conductividad térmica y en el caso del sustrato densidad. Pruebas ópticas de la vegetación seleccionada: absorptancia y emitancia. Los datos atmosféricos y de las pruebas de laboratorio se ingresarán en la metodología de cálculo térmico (Móral, et al), el cual toma como referencia el método del programa TRANSYS elaborado en la Universidad de Wisconsin E.U., para analizar el flujo de calor y la temperatura horaria en el interior del edificio. Una vez obtenidos los datos del cálculo se realizará una comparativa con los datos de temperatura interior del edificio actual (con cubierta expuesta) y los arrojados por la estimación (cubierta vegetal extensiva).

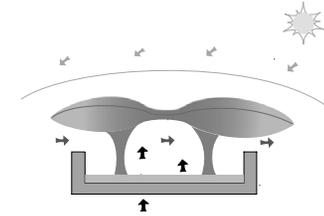


Tabla 11. RESUMEN DEL MODELO

ELEMENTOS	FUENTE DE INFORMACIÓN
Metodología de cálculo	Programa de cálculo térmico (Sámano et al, 2000)
REGISTRO DE DATOS A CADA HORA	
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura ambiente 	SMN
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad y dirección del viento 	SMN
<ul style="list-style-type: none"> • Radiación solar 	Programa SOLAR de radiación y gráficas solares (Balderas, 1998)
<ul style="list-style-type: none"> • Humedad relativa 	Programa de temperatura y humedad (Tejeda, 1998)
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura y Humedad relativa interior a las 8:00 a.m. 	Monitoreo través de un termohidrógrafo.
<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades térmicas 	Instrumento de conductividad térmica. Modelo RAPID K (DYNATECH)
<ul style="list-style-type: none"> • Propiedades ópticas de la vegetación 	Datos bibliográficos: http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/index.htm

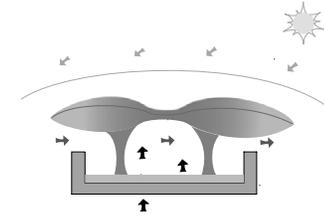


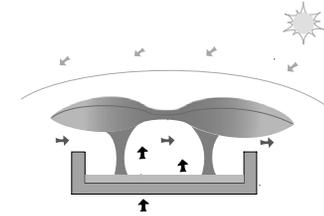
Tabla 12. COMPARATIVA DE DATOS CLIMÁTICOS EN CUATRO CIUDADES

Parámetros climáticos (día de diseño)	Acapulco (26 de julio 2008)	Singapur (1° de marzo 2004)	Orlando (4 julio 2005)	Caracas (9 octubre 2005)
Temperatura media Día 26 de julio.	28.6°C	28.3°C	28.5°C	29.6°C
Humedad relativa	62%	80%	75%	75%
Velocidad del viento promedio	9.4Km/h	6.7Km/h	9.4Km/h	3.9Km/h
Estación meteorológica	768056 (MMAA)	486980 (WSSS)	722050 (KMCO)	804150 (SVM I)
Latitud	16.75°	1.36	28.43	10.6
Altitud	5m	5m	29m	43m
Precipitación mensual	50.04mm	49.78	100.59mm	26.91mm

Fuente: clima URL: <http://www.tutiempo.net/clima>

La tabla indica los datos climáticos el día de muestra de tres experimentos con clima similar al de esta investigación. Se espera que los resultados del modelo sean favorables debido a que la humedad relativa del día de diseño en Acapulco es más baja que en las ciudades donde se realizaron los experimentos comparados, la velocidad del viento es igual en el caso de Orlando y más alta que en Singapur y Caracas.

Los resultados más destacados del experimento en Singapur son:



En el caso de Singapur, el flujo de calor se redujo hasta un 60% y la diferencia de la temperatura máxima de la superficie inferior de la cubierta con vegetación y sin vegetación fue de 18°C. En Orlando, el flujo promedio reducido fue de 18.3% y en Caracas el amortiguamiento máximo fue de 6°C, la comparación entre la temperatura máxima de la superficie inferior de la losa con cubierta naturalada y sin naurar fue de 18°C.

Tabla 13. RESUMEN COMPARATIVO DE EXPERIMENTOS

Singapur	Florida	Caracas
El flujo de calor se redujo hasta un 60%, la diferencia de la temperatura máxima de la superficie inferior con y sin vegetación fue de 18°.	El flujo de calor promedio reducido fue del 18.3%	El amortiguamiento máximo fue de 6°, la diferencia de la temperatura máxima de la superficie inferior con y sin vegetación fue de 18° equivalente a un retraso térmico de 4hrs.

IV.2 ELECCIÓN DE MATERIALES VIVOS E INERTES.

Utilizando la vegetación que se consideró como apropiada de acuerdo a sus requerimientos, a la adaptación y existencia en la zona de estudio, se hace una selección de dos especies para ser utilizadas en el modelo las cuales son: *Codiaeum variegatu* y *Cordyline terminalis*.

Debido a que en la zona de estudio no se encuentran bancos cercanos de materiales porosos de origen volcánico que pudieran funcionar como parte del sistema de drenaje se utilizarán materiales prefabricados. Se elige un sistema para los componentes inertes los cuales son: un primario base solvente, impermeabilizante de polvo de llanta reciclada, una malla de poliéster anti raíz, y un dren prefabricado integrado con 1 filtro geotextil.

Para la composición del sustrato se realizarán una mezcla compuesta por 50% de vermicomposta y 50% de tepojal triturado con un espesor de 8cms, integrado con un gel retenedor de agua y nutrientes.

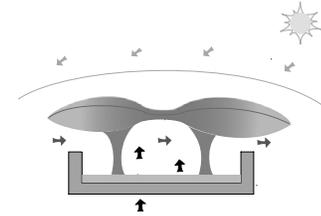


Tabla 14. RESULTADOS DE LA REDUCCIÓN TÉRMICA DE DOS ESPECIES (FANG FANG 2007):

Especie	Espesor promedio de la hoja. (mm)	Altura promedio de la planta. (cm)	cobertura promedio %	No. De capas	Temperatura del fondo.	Imagen
<i>Coelocera variegata</i>	0.45	60	70	6	25.6	
<i>Cordylina terminalis</i>	0.23	70	50	6	26	

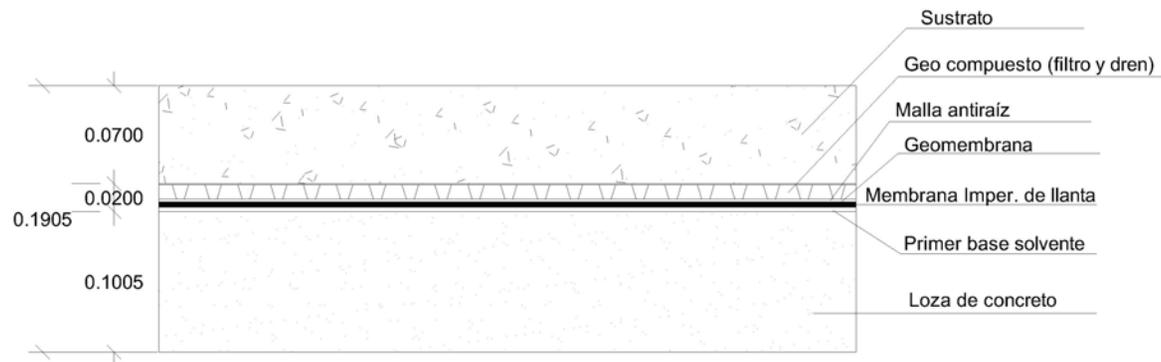
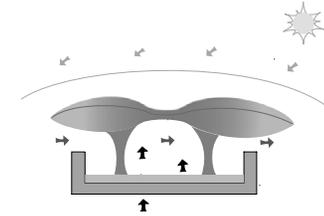


Imagen 37. Sistema propuesto



V. MUNICIPIO DE ACAPULCO GUERRERO. Factores geográficos y atmosféricos.

V.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El municipio de Acapulco se localiza al norte $17^{\circ},14'$, al sur $16^{\circ} 41'$ de latitud norte; al este $99^{\circ} 29'$, al oeste $100^{\circ}, 00'$ de longitud oeste. Representa el 2.6% de la superficie del estado de Guerrero. Colinda al norte con los municipios de Coyuca de Benítez, Chilpancingo de los Bravo, y Juan R. Escudero; al este con los municipios de Juan R. Escudero y San Marcos; al sur con los municipios de San Marcos y el Océano Pacífico; al oeste con el Océano Pacífico y el municipio de Coyuca de Benítez.

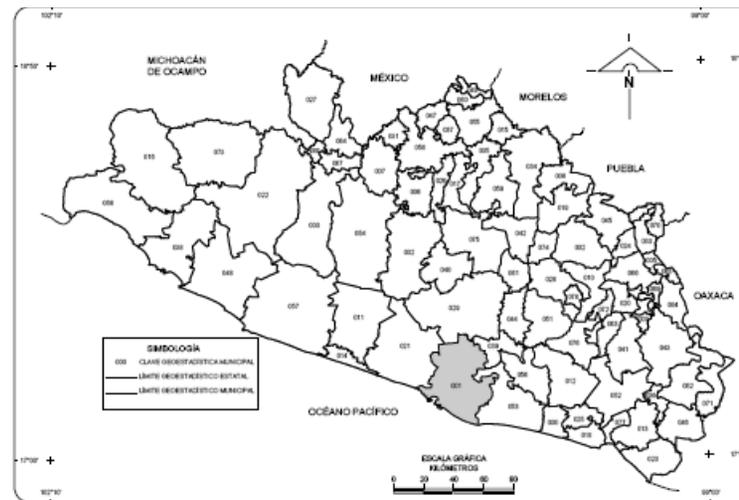
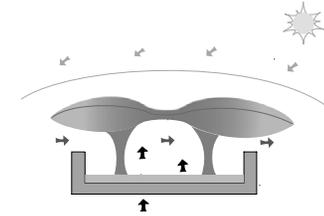
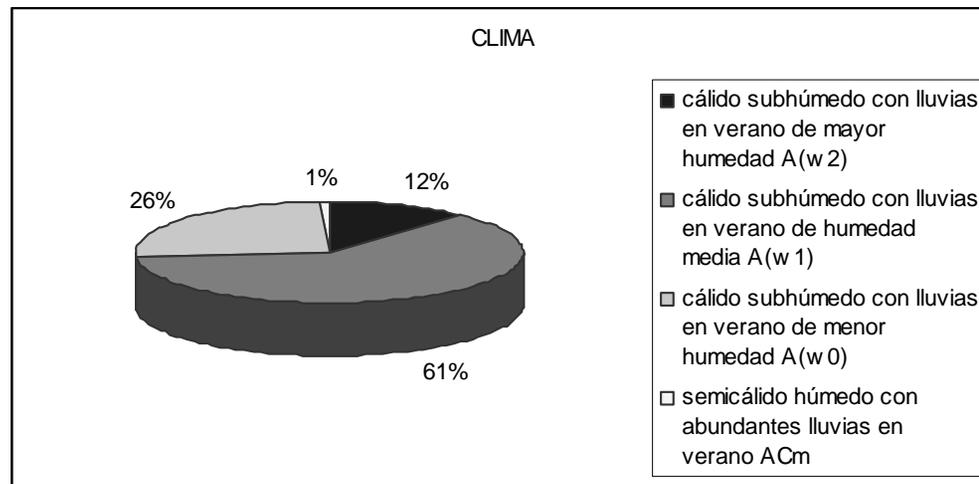


Imagen 38. Ubicación Geográfica en el Estado de Guerrero



V.2 DATOS ATMOSFÉRICOS DE ACAPULCO GUERRERO.



Fuente: INEGI, Cuaderno estadístico Municipal 2006.

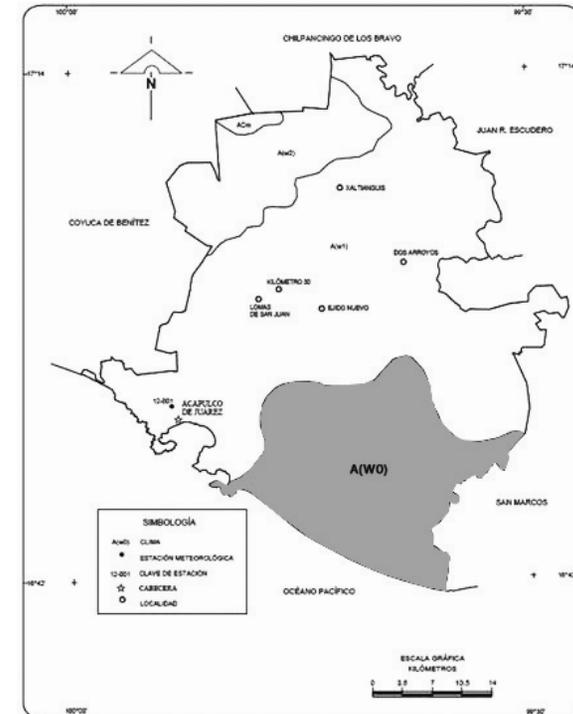
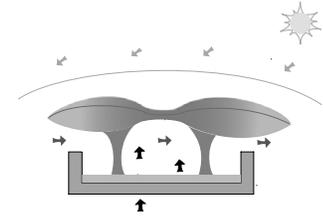
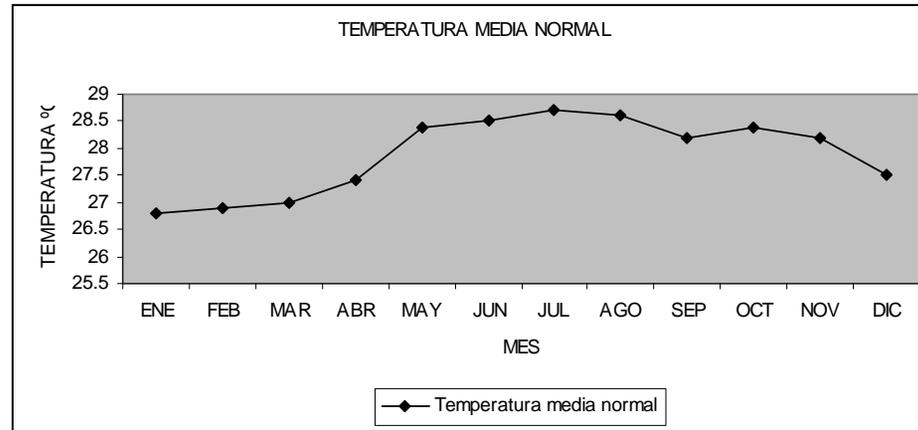


Imagen 39. Ubicación de climas dentro del municipio

El clima predominante es el cálido subhúmedo con lluvias en verano de humedad media A(w1), que presenta el 61.38% de la superficie total; seguido del clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad A(w0) con el 25.90%; el clima cálido subhúmedo con lluvias en verano de mayor humedad A(w2) con el 12.02% y por último el semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano ACm con el 0.70%.

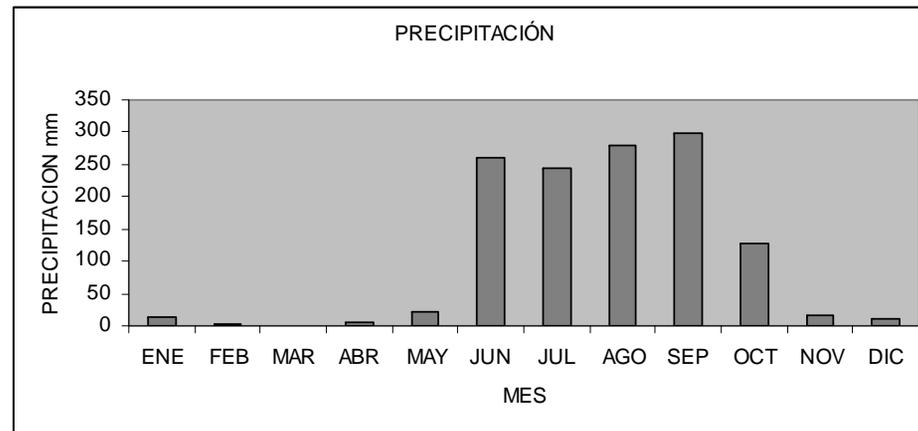


TEMPERATURA

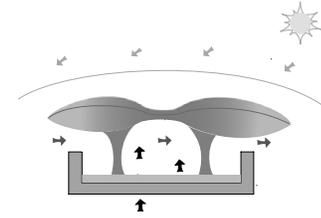


FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional

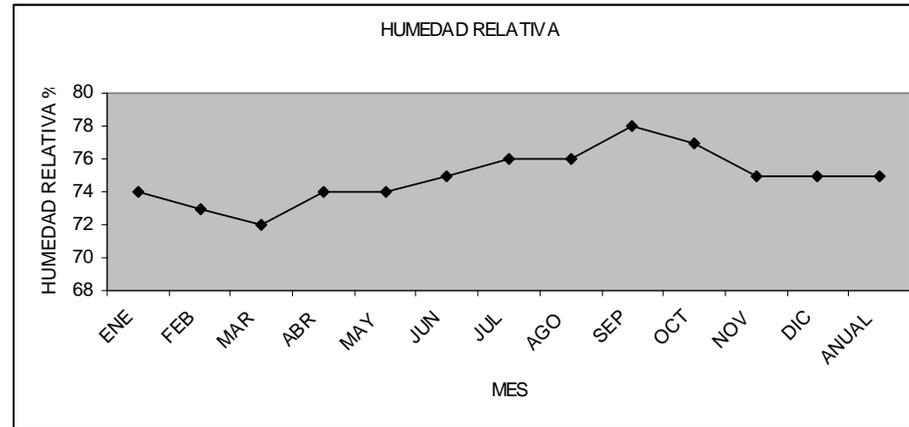
PRECIPITACIÓN



FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional

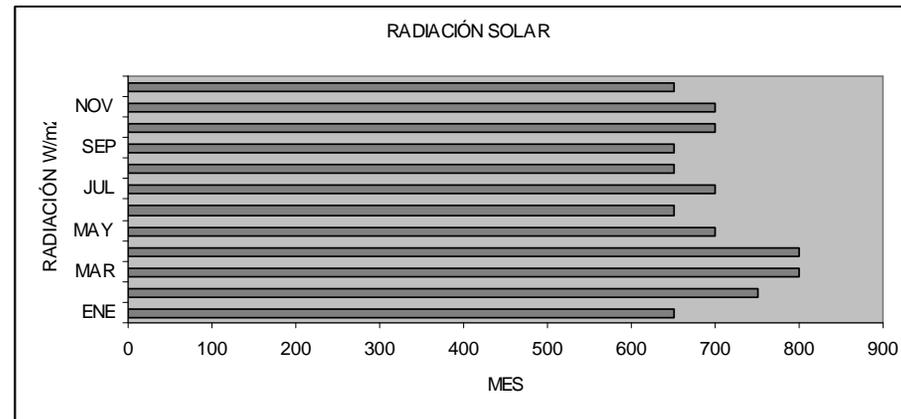


HUMEDAD RELATIVA

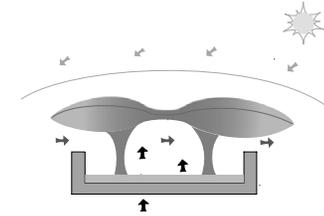


FUENTE: Servicio Meteorológico Nacional

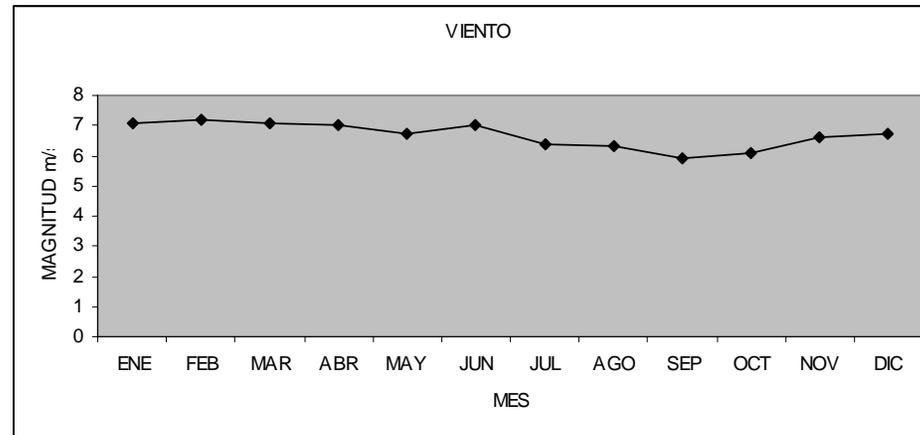
RADIACIÓN SOLAR GLOBAL



Fuente: Programa de radiación y gráficas solares, Solar (Balderas et al, 1998) Nota: Radiación en W/m²



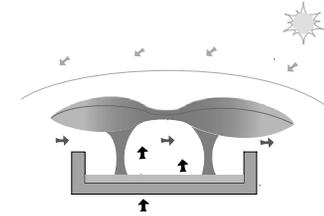
VIENTO



Fuente: Normales climatológicas periodo 1981-2000
Viento máximo diario (m/s)

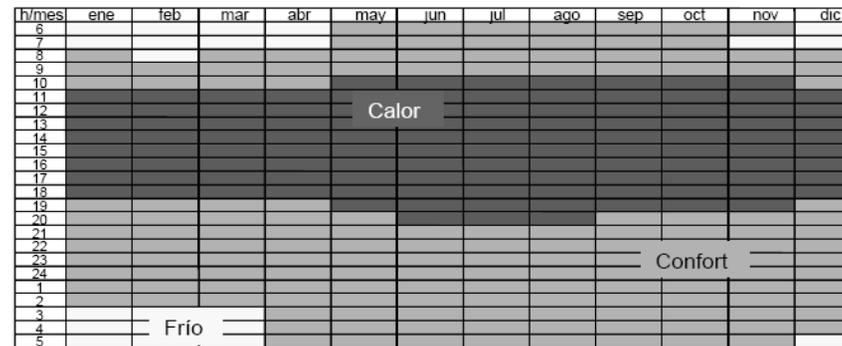
La temperatura más elevada se localiza a partir del mes de mayo a octubre, la precipitación anual es de 1,283.90mm en 67.6 días de lluvia en un periodo de lluvia de junio a octubre. La humedad relativa promedio es de 75% y la radiación solar es de 600 y alcanza los 800w/m² y la magnitud del viento promedio es de 6.5 m/s.

De acuerdo a los datos presentados encontramos que el mes de julio es el más caluroso por lo que se elige como el mes de diseño, el cual presenta una temperatura media de 28.7°C y 76% de humedad relativa media, la precipitación alcanza los 243 mm con un promedio de 12 días de lluvia. La radiación solar global llega a los 700 W/m² y la magnitud media del viento es de 6.4 m/s. Los vientos dominantes en este mes vienen del suroeste (Serrano 1981).



V.3. CONDICIONES DE CONFORT HIGROTÉRMICO.

DIAGRAMA DE ISORREQUERIMIENTOS PARA LA CIUDAD DE ACAPULCO DE JUAREZ, GRO.



FUENTE: Atlas del Bioclima de México, Instituto de Ingeniería UNAM, octubre 2004.

El confort térmico se presenta con mayor porcentaje en los meses de diciembre a abril a partir de las nueve de la mañana hasta las 2 horas. El frío aparece en los meses diciembre a marzo, con menor intensidad.

II.1 Evaluación y delimitación de las condiciones de confort higrotérmico.

Calculo de la posición del centro de la zona de confort (T_n), mediante la expresión propuesta por (Szokolay ,1984):

$$T_n = 17.6 + 0.31(T_m), \text{ en } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

T_m es la temperatura media norma

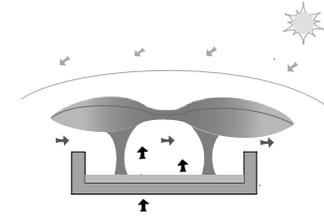
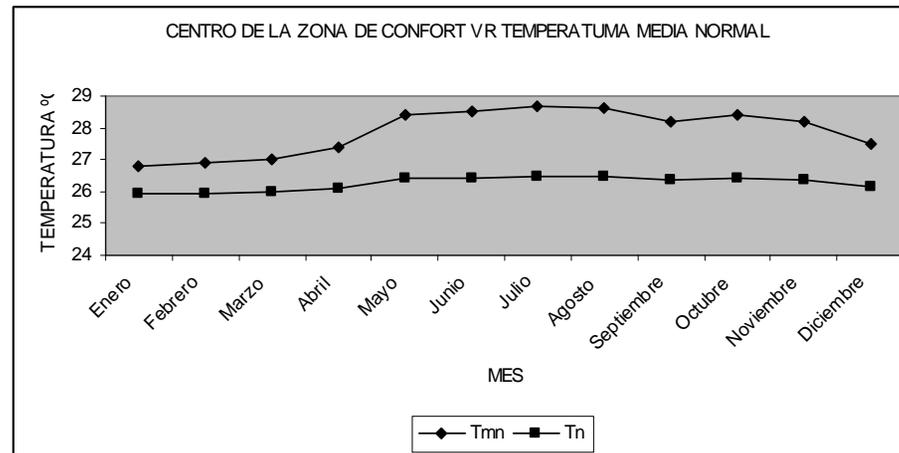
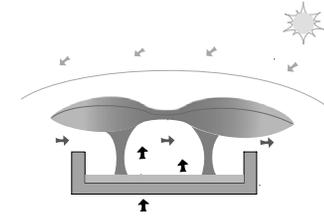


TABLA 15. CÁLCULO DE T_n PARA LOS MESES DEL AÑO

Mes	T_n	$T_n + 3^{\circ}\text{C}$	$T_n - 3^{\circ}\text{C}$
Enero	25.91	28.91	22.91
Febrero	25.94	28.94	22.94
Marzo	25.97	28.97	22.97
Abril	26.09	29.09	23.09
Mayo	26.4	29.4	23.4
Junio	26.44	29.44	23.44
Julio	26.5	29.5	23.5
Agosto	26.47	29.47	23.47
Septiembre	26.34	29.34	23.34
Octubre	26.4	29.4	23.4
Noviembre	26.34	29.34	23.34
Diciembre	26.13	29.13	23.13

CENTRO DE LA ZONA DE CONFORT VS TEMPERATURA MEDIA NORMAL





Para la amplitud de la zona de confort se utiliza la oscilación media de la temperatura del aire; bastará hallar la diferencia entre los dos primeros datos climatológicos señalados: máxima y mínima promedio mensual. La amplitud de la zona de confort se determina entonces mediante la tabla Amplitud de la zona de confort. (Morillon 2004). El centro de la zona de confort tiene valores de 25.91 a 26.5 y la temperatura media normal de 26.8 a 28.70 °C.

TABLA 16. AMPLITUD DE LA ZONA DE CONFORT VS OSCILACIÓN MEDIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

Oscilación media de la temperatura del aire (°C)	Amplitud de la zona de confort ΔT
Menos de 13	2.5
13-15	3
16-18	3.5
19-23	4
24-27	4.5
28-32	5
33-37	5.5
38-44	6
45-51	6.5
Mas de 51	7

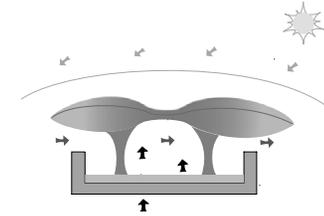
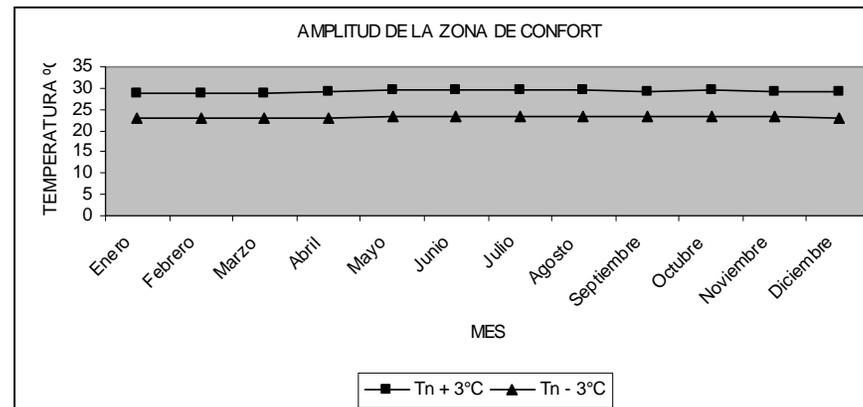


TABLA 17. AMPLITUD DE LA ZONA DE CONFORT

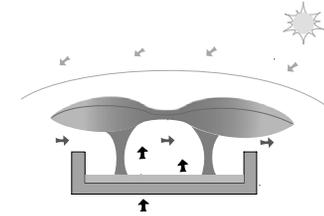
Mes	Tmax m	Tmin m	Diferencia	ΔT
Enero	32.0	22.1	9.9	3.0
Febrero	32.7	22.0	10.7	3.0
Marzo	32.7	21.9	10.8	3.0
Abril	35.4	22.1	13.3	3.0
Mayo	35.8	22.8	13.0	3.0
Junio	33.7	22.3	11.4	3.0
Julio	34.3	22.8	11.5	3.0
Agosto	33.9	23.4	10.5	3.0
Septiembre	33.6	23.6	10.0	3.0
Octubre	33.5	23.0	10.1	3.0
Noviembre	33.1	22.0	11.1	3.0
Diciembre	32.9	22.5	10.4	3.0

Nota: Dicha amplitud, centrada en torno a T_n , determina los límites de la zona de confort.

TEMPERATURA CONFORT Y SU AMPLITUD



La temperatura confort está sobre los 25°C con una amplitud de 22° a 28°C.



VII. CASO DE ESTUDIO

VII.1 LOCALIZACIÓN

La región de estudio se localiza en la parte sureste del Municipio, el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano de menor humedad A (w0) el más seco del grupo de los húmedos. De acuerdo a la literatura encontrada, el funcionamiento de la cubierta vegetal se beneficia más cuando la humedad no es muy alta (Theodosiou 2003, Simos 2006), siendo la principal razón por la cual se decide dirigir la investigación dentro de esta zona.

Abarca la franja diamante, la cual ha tenido más desarrollo inmobiliario durante los últimos años y donde se ubican principalmente áreas de turismo, comercio, entretenimiento y vivienda de interés social, medio y alto. Se utilizará como caso de estudio una vivienda dentro de la Unidad Habitacional Vicente Guerrero 2000 muy próxima al Aeropuerto Internacional y al Boulevard de las Naciones.

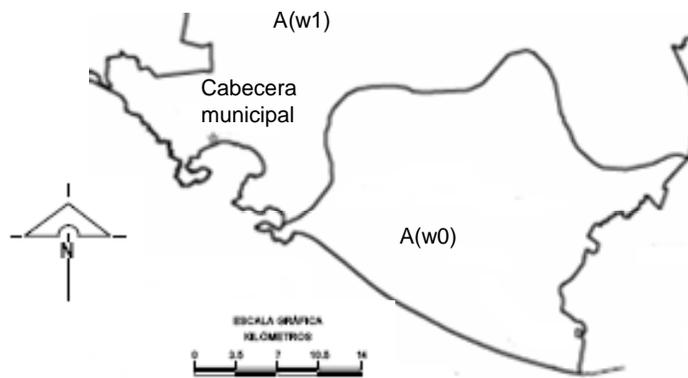
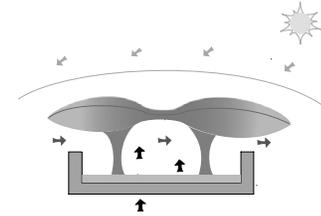


Imagen 40. Ubicación del clima Aw(0).



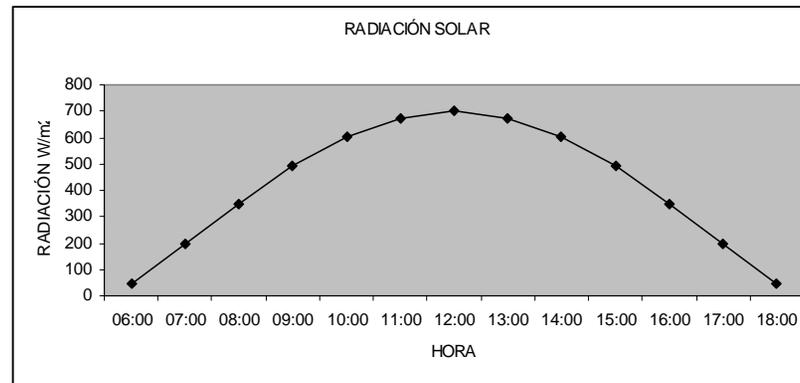
Imagen 41. Localización de la vivienda.



VII.2 DATOS ATMOSFÉRICOS DEL DÍA DE DISEÑO.

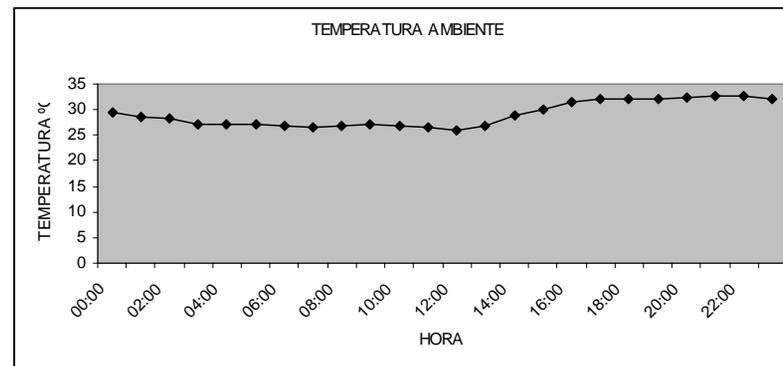
26 de julio de 2008

RADIACIÓN SOLAR

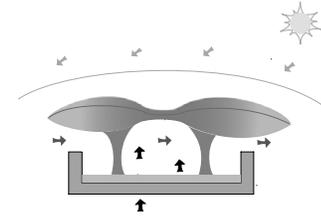


Fuente: Programa de radiación y gráficas solares Solar (Balderas et al, 1998)

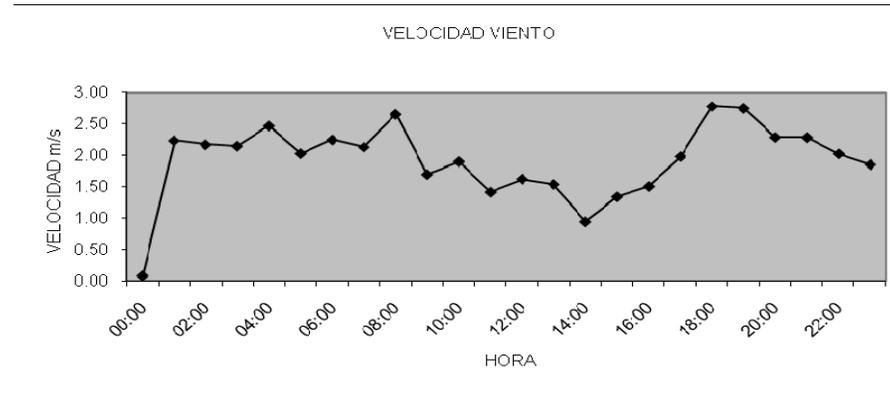
TEMPERATURA AMBIENTE



Fuente: SMN Estaciones meteorológicas automáticas 26 de julio de 2008.



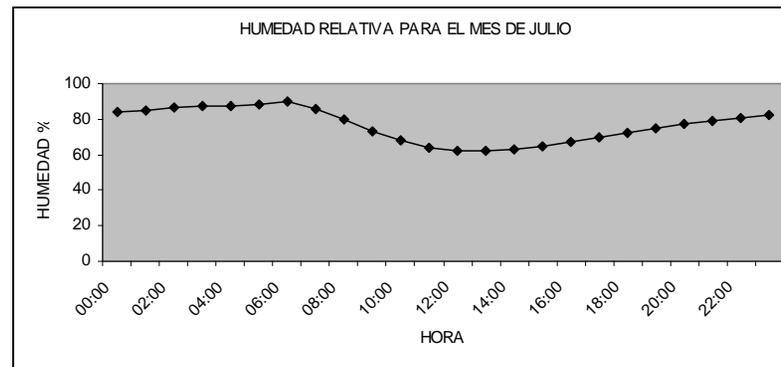
VELOCIDAD DEL VIENTO



Fuente: SMN Estaciones meteorológicas automáticas 26 de julio 2008.

HUMEDAD RELATIVA

Fuente: Programa de temperatura y humedad para el mes de julio (Tejeda, 1998)



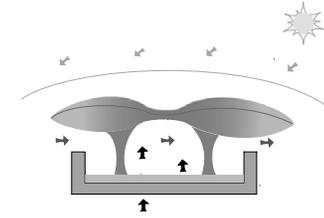
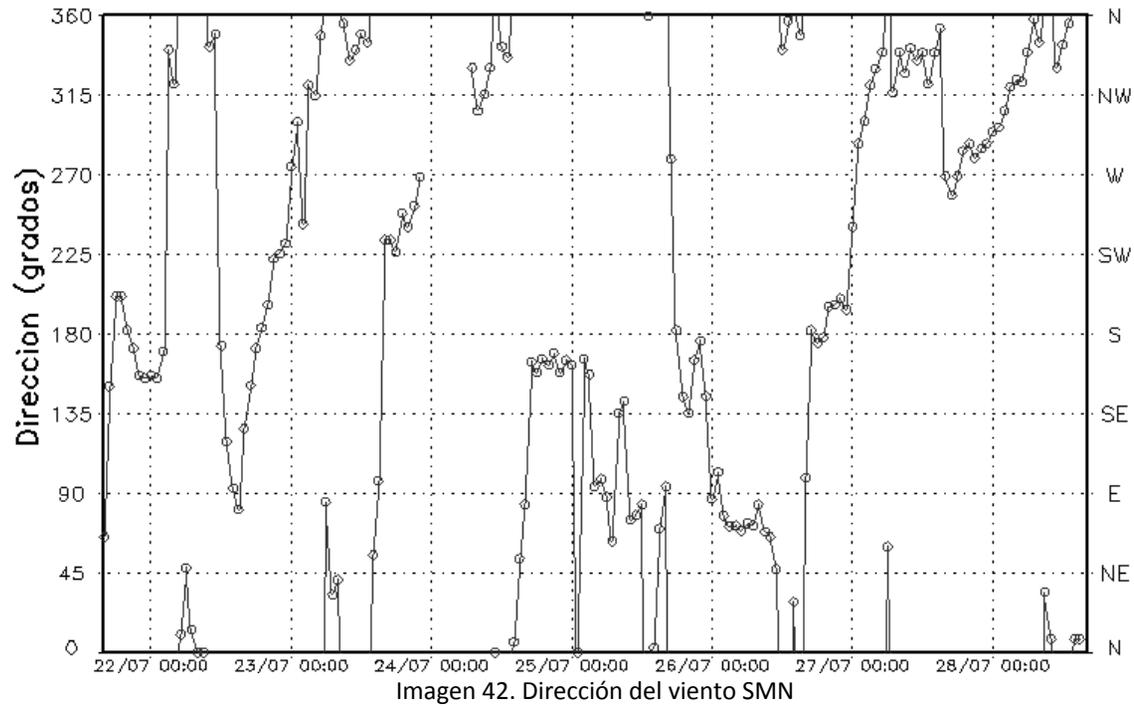
Fuente: Programa de temperatura y humedad para el mes de julio (Tejeda, 1998)

DIRECCIÓN DEL VIENTO

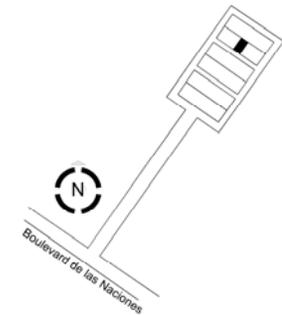
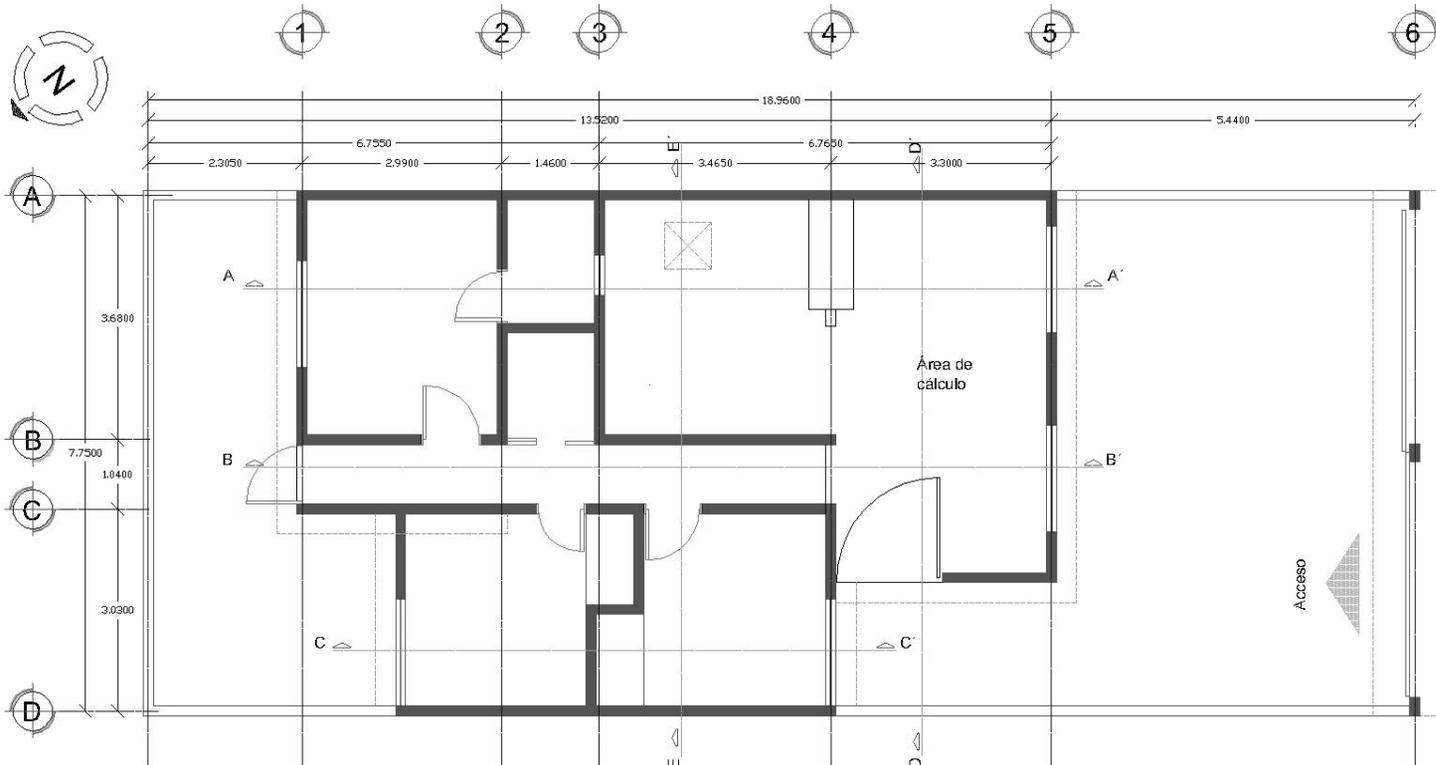
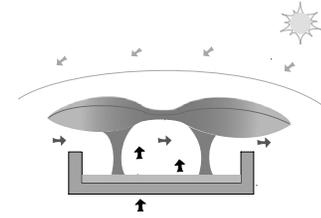


Estacion: GR01 – ACAPULCO, ultimo dato: 28/07/2008 15:00 TUC

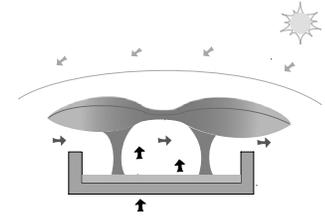
Dirección del viento sostenido en los ultimos 7 días (cada hora)



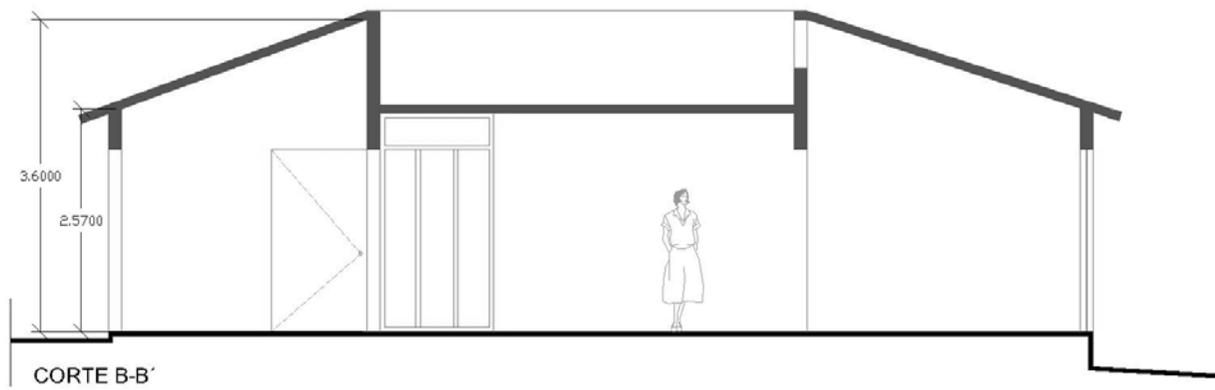
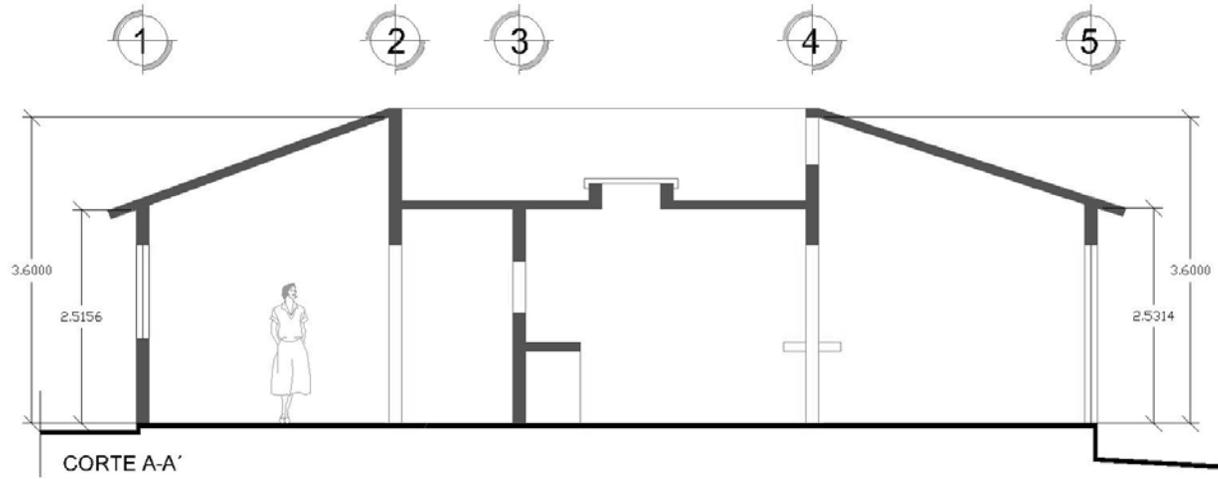
VII.3 PLANOS ARQUITECTÓNICOS
PLANTA ARQUITECTÓNICA



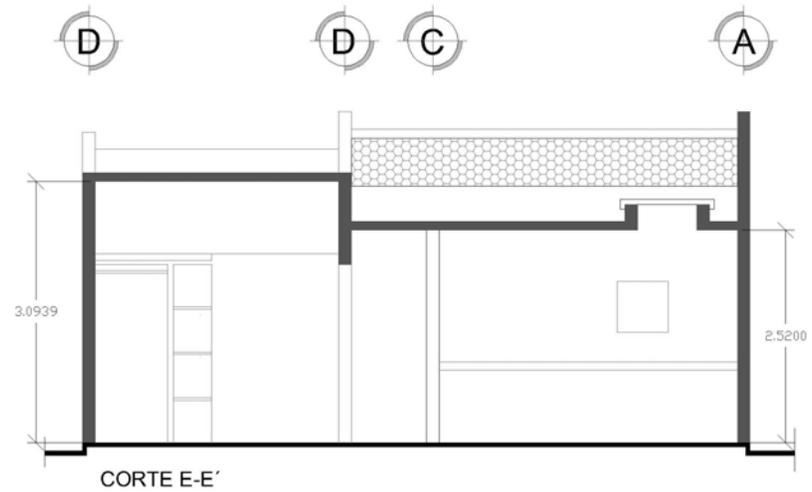
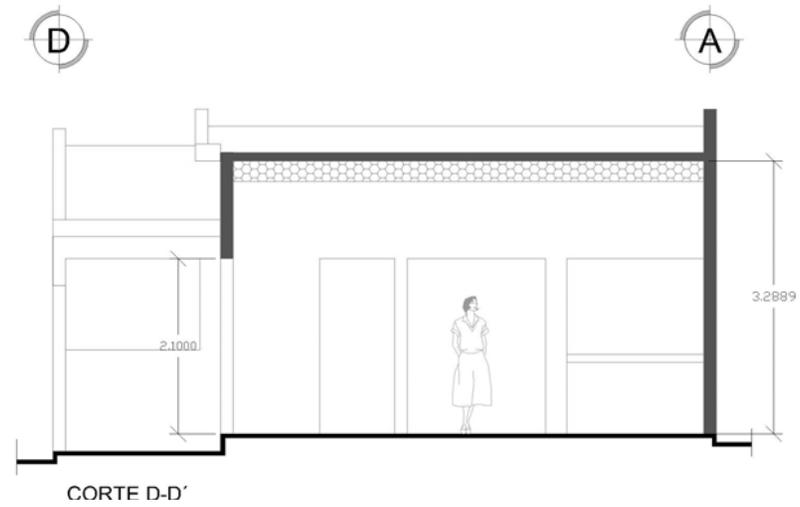
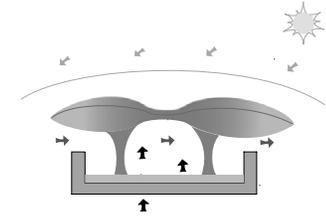
Localización

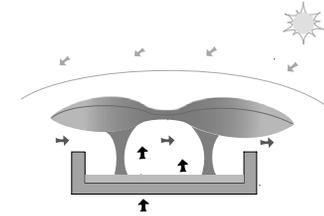


CORTES LONGITUDINALES



CORTES TRANSVERSALES

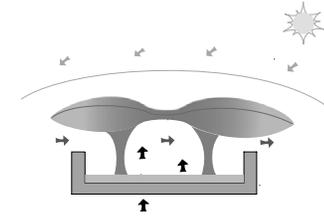




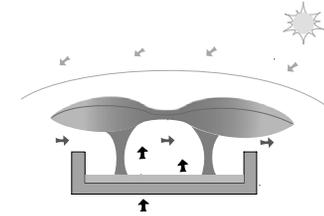
VIII. RESULTADOS

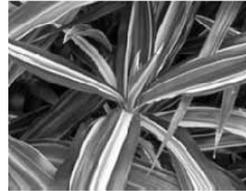
VIII.1 VEGETACIÓN CON ALTO POTENCIAL.

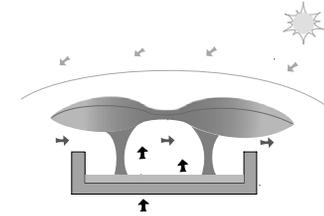
Familia	Nom. Científico	Nom. común	Altura	Color de follaje	Color de flor	Imagen
Agavaceae	<i>Beaucamea recurvata</i>	Pata de elefante	hasta 1 m	verde	crema	
Agavaceae	<i>Agave celsii</i>	maguey	60-90 cm	verde	amarillo	
Agavaceae	<i>Agave attenuata</i>	Maguey cola de león	60-90 cm	verde	amarillo	
Cicadaceae	<i>Cyca ravoluta</i>	cyca	50 cm-1 m	verde	amarillo	



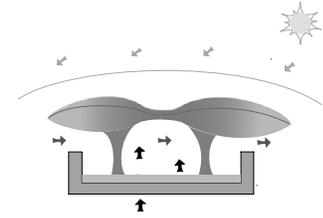
Familia	Nom. Científico	Nom. común	Altura	Color de follaje	Color de flor	Imagen
Vervencaceae	<i>Lantana montevidensis</i>	Lantana rastrera	30 cm	verde	morado	
Coronellaceae	<i>Troscandria zosterina</i>	Zosterina péndula	20-25 cm	Verde/morado	rosa	
Coronellaceae	<i>Sarcocaulis</i>	purpurina	30 cm	morado	rosa	
Coronellaceae	<i>Rhynchospora</i>	Planta del café	30-45 cm	Verde y morado	blanco	

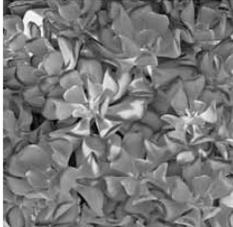
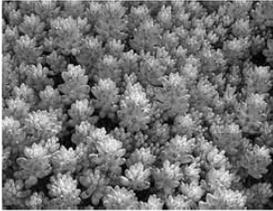
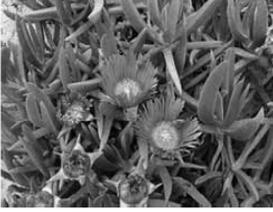


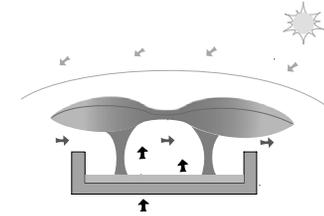
Familia	N.C.	N.común	Altura	Color de foliaje	Color de flor	Imagen
Euphorbiaceae	<i>Codiaeum variegatum</i>	Crota	(si se poda, hasta)	Amarillo y verde.	-	
Liliaceae	<i>Cordylina terminalis</i>	Dracena	(si se poda hasta)	Verde y rojo	-	
Rubiaceae	<i>Isora dijff</i>	Isora	De a	verde	Rojo, amarillo, blanca.	
Liliaceae	<i>Chlorophytum comosum</i>	Mala madre	20-30 cm	Verde con cintas blancas	blanca	



Familia	Nom. Científico	Nom. común	Altura	Color de follaje	Color de flor	Imagen
Commelinaceae	<i>Tradescantia bracteata</i>	-	15 – 30 cm	Verde con rosa	-	
Geraniaceae	<i>Falargonia zonata</i>	Malvón, geranio	30 – 50 cm	verde	Rojo, rosa, blanco, etc.	
Liliaceae	<i>Aloe vera</i>	Sábila	50 cm	verde	Amarilla	
Liliaceae	<i>Sansevieria</i>	Lengua de tigre	30 cm a 1 m	Verde con cintas amarillas	blanca	



Familia	Nom. Científico	Nom. común	Altura	Color de follaje	Color de flor	Imagen
Crassulaceae	<i>Sedum dendroideum</i>	Siempre viva	50 cm – 1m	verde	amarillo	
Crassulaceae	<i>Sedum rubrotinctum</i>	Dedo rojo	15 cm	Verde-rojo	amarillo	
Aizoaceae	<i>Carpotrochis edulis</i>	Dedo maro	15 cm	verde	N/A	

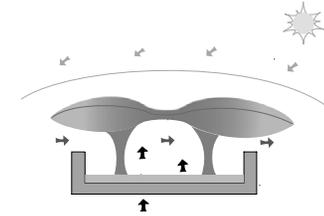


Una vez que el sistema de cubierta verde es instalada el mantenimiento solo consistirá en el deshierbe y la poda de la vegetación, la cual como se mencionó en el capítulo III es un promedio de dos veces por año.

A pesar de que no es recomendable la utilización de pastos debido a que la gran mayoría de las especies requieren un alto mantenimiento y riego, aunado a que el porte bajo no facilita el retiro de calor y humedad en el follaje; si las razones para emplearlo son puramente estéticas entonces se pueden utilizar *Soysia japónica*, *Soysia tenuifolia*, *Bermudas*, *Stenotaphium secundatum*, *Paspalum notatum*, las cuales requieren muy bajo mantenimiento, son resistentes a la sequía y son apropiadas para emplearse en climas cálidos húmedos.

Nombre científico	<i>Soysia japónica</i>	<i>Soysia tenuifolia</i>	<i>Bermudas</i>	<i>Stenotaphium secundatum</i>	<i>Paspalum notatum</i>
Imagen					

Imagen 43. Especies de pasto con bajo requerimiento de riego y mantenimiento.



VIII.2 COMPARACIÓN DE SISTEMAS

TABLA 18. COMPARATIVA EN COSTO Y PESO POR SISTEMA

Nombre	Costo aproximado \$/ m ²	Peso kg/m ²	Recomendaciones
Sistema simple	1,100.00	80	Si se dispone de material poroso.*
Sistema compuesto	1,300.00	70	Para edificaciones que requieran baja carga muerta.*
Sistema mejorado	1,100.00	75	Si se dispone de material poroso.**
Sistema propuesto	1,200.00	70	Donde no se disponga de material poroso de origen volcánico.**

Nota: Incluye costo de la vegetación y peso a capacidad de campo (sustrato húmedo no a saturación).

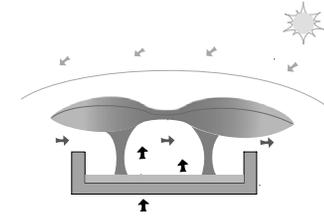
Sistema probado *

Sistema no probado **

El costo de todos los sistemas contrasta drásticamente con las propuestas de empresas dedicadas a este rubro actualmente en México. El costo de una azotea verde en el extranjero puede variar de 20 a 70 euros por metro cuadrado, lo que equivale de 360 a 1,260 pesos, debido a que existe un amplio mercado principalmente en países europeos.

Los costos de 1,100 a 1,300 pesos por metro cuadrado se obtienen por la utilización de materiales preferentemente nacionales y especies locales de vegetación. El peso calculado en una capa de 7 cm, no rebasa los 80 Kg/m², debido a que se utiliza un sustrato muy poroso y una capa delgada de drenaje. La elección del sistema se hace de acuerdo a la disponibilidad de un material poroso, a los requerimientos de carga en la estructura y a la elección de materiales para proteger la estructura.

Es recomendable utilizar polímeros absorbentes para mantener el contenido de humedad en el sustrato así como nutrientes orgánicos que faciliten el crecimiento de las plantas.



VIII.3 ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO.

En la zona de estudio la precipitación más abundante se localiza entre los meses de junio a octubre con un total de 1,283.90mm por año en 67.6 días de lluvia. La paleta vegetal en promedio requiere 1 riego a la semana, considerando 48 semanas al año, la precipitación total puede fácilmente cubrir el requerimiento incorporando un sistema de captación de agua. El consumo de la energía por aire acondicionado se estima tomando como referencia el promedio por habitación que es aproximadamente de 1400KWh al año.¹⁶ Cabe señalar que el porcentaje de ahorro energético es calculado de acuerdo al potencial de evaporación promedio mensual.

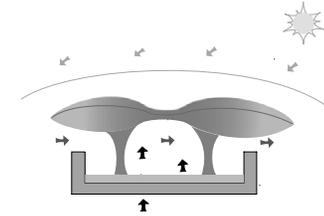
El Cálculo de la Evapotranspiración diaria según la fórmula de Hargreaves ANEXO C es de 0.443 mm por día, lo que equivale a 0.30 KWh aproximadamente (Kohler M. etal, 2002). El consumo de energía por aire acondicionado es de 4 KWh al día aproximadamente, cada grado centígrado para enfriar equivale a un 7%, es decir 0.28 KWh, por lo tanto, el enfriamiento por evapotranspiración representa aproximadamente 1 °C.

Fórmula de Hargreaves
 $E_{to} = 0.0023 (T_{med} + 17.78) R_o * (T_{dmax} - t_{dmin})$

TABLA 19. MEDIDA POTENCIAL DIARIA DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO

Evaporación mm	Enfriamiento KWh	Enfriamiento °C
0.443	0.30	1.07

¹⁶ Comisión Nacional de Fomento a la vivienda, Guía CONAFOVI, Uso eficiente de la energía en la vivienda, 2006.



VIII.4 PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA VEGETACIÓN.

VIII.4.1 REFLECTANCIA VEGETAL

La radiación incidente es en parte reflejada y en parte dispersada. La responsable de la reflexión es la cutícula de la hoja, la cual le confiere el brillo característico de algunas especies. La luz no reflejada penetra en el interior de la hoja y es sucesivamente refractada, reflejada y difractada.

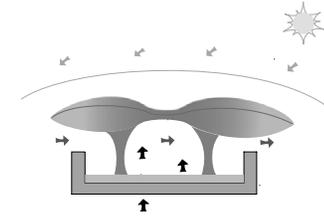
En el infrarrojo próximo, las hojas con mayor desarrollo del parénquima lagunar (tejido del cuerpo vegetal) producen mayor dispersión. Por esta razón las plantas de hoja anchas suelen ser más reflectantes en esta región espectral. La presencia de cloroplastos incrementa la absorción, esta es la razón por la cual las hojas suelen tener mayor reflectancia en el envés que en haz. La vellosidad de algunos tipos de hojas incrementa también la reflectancia en el visible y el infrarrojo próximo.

Un típico color amarillo en la planta debido a la disminución del contenido en clorofila produce un incremento de la reflectancia en el visible.

El efecto de incremento de la reflectancia para alturas solares pequeñas se ve en cierto modo contrarrestado por las sombras producidas por las propias plantas sobre las vecinas. La reflectancia en el visible aumenta a medida que el sol asciende, disminuyendo, por el contrario, la correspondiente al infrarrojo próximo. Sin embargo no sólo afecta la orientación general de la superficie con respecto al sol, sino también la orientación relativa hoja a hoja. Por ello es importante considerar la inclinación de las hojas.

El coeficiente de extinción de la radiación de onda larga en función de la distribución de las hojas se puede apreciar en el ANEXO E, tabla 1.

El coeficiente de extinción K_s en función de las propiedades ópticas de las hojas es de 1.10 para especies con hojas predominantemente horizontales y de 0.29 para especies con hojas predominantemente verticales.



VIII.4.2 CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE LA VEGETACIÓN.

Las propiedades reflectivas de la vegetación dependen de tres tipos de variables:

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

En el visible la reflectancia de las hojas no supera el 15% y la transmitancia es también pequeña.

En el infrarrojo próximo las hojas presentan una meseta de alta reflectancia (alrededor del 50%). De la energía restante, la mayor parte es transmitida, ya que la absorbanza es solo del 10%.¹⁷

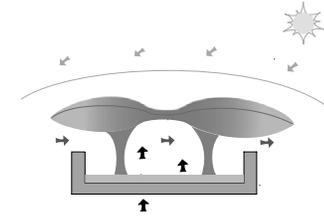
En el intervalo visible, las hojas presentan tres zonas diferenciadas: una en el visible (0,4-0,7 μm) caracterizada por su baja reflectancia, otra en el infrarrojo próximo (0,7-1,3 μm) y otra en el infrarrojo medio (1,3-2,5 μm).¹⁸

TABLA 20. PROPIEDADES OPTICAS DE LA VEGETACION.

CONCEPTO	%
Absortancia	10
Emitancia	50
Transmitancia infrarroja	40
Reflectancia visible	15

¹⁷ http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/caracteristicas_vegetacion.htm

¹⁸ Palomo Del barrio Elena, Analisis of the green roof cooling potential in buildings, Energy and buildings, 27, p.183-184, 1998.



VIII.5 PRUEBAS TÉRMICAS Y FÍSICAS DE LOS MATERIALES INERTES.

TABLA 21. MEDICIÓN DEL PESO Y DENSIDAD DEL SUSTRATO Y SISTEMA COMPLETO.

FECHA	ALTURA DE CAJA m	ESPELOR m	ÁREA m ²	VOLUMEN m ³	PESO SUSTRATO kg	DENSIDAD kg/m ³	PESO sustrato seco kg/m ²	PESO sustrato a c.c. kg/m ²	PESO SISTEMA COMPLETO Kg/m ²
39773	0.007	0.053	0.093	0.005	4.184	854.605	45.038	66.566	68.018
39777	0.007	0.053	0.093	0.005	3.922	801.090	42.217	63.746	65.198
39778	0.007	0.053	0.093	0.005	3.849	786.179	41.432	62.960	64.412
39779	0.007	0.053	0.093	0.005	3.836	783.524	41.292	62.820	64.272
Tendencia central x					3.974	806.349	42.495	64.023	65.475

Tabla 22. RESULTADOS DE PRUEBAS TÉRMICAS DE LAS DIFERENTES MUESTRAS.

PRUEBA	VALOR					
	Imper. Geomembrana	Malla Antiraíz	Imper. Llanta reciclada	Dren Geocompuesto	SUSTRATO	SISTEMA
Conductividad $\lambda = W/m \text{ } ^\circ C$	0.0014	0.0014	0.0034	0.0263	0.1497	0.1075
	0.0013	0.0017	0.0053	0.0318	0.0926	0.1019
	0.0010	0.0012	0.0058	0.0325	0.0938	0.0998
	0.0014	0.0017	0.0052	0.0308	0.0911	0.0942
						0.0967
						0.0449
Media $\lambda = W/m \text{ } ^\circ C$	0.001	0.002	0.005	0.030	0.107	0.091
Calor específico $C_p = kJ/kg \text{ } ^\circ C$	0.1471	0.1544	0.1633	0.1034	0.1079	0.0945
	0.1751	0.1869	0.1627	0.1278	0.1094	0.0926
	0.1908	0.1778	0.1772	0.1275	0.1062	0.0873
	0.1812	0.1736	0.1745	0.1596	0.0997	0.0897
						0.0930
						0.0913
Media $C_p = kJ/kg \text{ } ^\circ C$	0.174	0.173	0.169	0.130	0.106	0.091

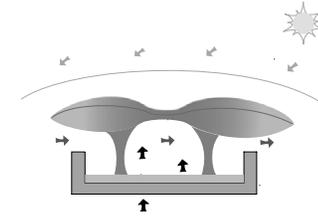


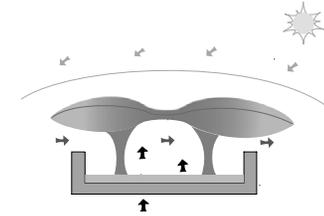
Tabla 23. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.

Nombre de muestra	No. De muestras	Prueba	Límite de confianza 99%	Valor mínimo	Valor máximo	Tendencia central	Desviación estándar	Valores desviados
F1	4	conductividad	7.934508729302613E-4 - 0.0017827004607311554	0.001	0.001	0.001	0.000	0
F2	4	conductividad	8.506639726071167E-4 - 0.0022103431712905213	0.001	0.002	0.002	0.000	0
F3	4	conductividad	0.0018074155153815184 - 0.008026906178188036	0.003	0.006	0.005	0.001	0
F4	4	conductividad	0.02219476229660349 - 0.03851785274688733	0.026	0.032	0.030	0.003	0
Sustrato	4	conductividad	0.023216064302118145 - 0.19038965152114304	0.091	0.150	0.107	0.029	0
Sistema	6	conductividad	0.05302914087844652 - 0.1286701765847819	0.045	0.108	0.091	0.023	0
F1	4	Calor específico	0.11868891774592427 - 0.2284002489207424	0.147	0.191	0.174	0.019	0
F2	4	Calor específico	0.13324002968451573 - 0.21312240087103987	0.154	0.187	0.173	0.014	0
F3	4	Calor específico	0.14753658208868398 - 0.19135500124464938	0.163	0.177	0.169	0.008	0
F4	4	Calor específico	0.06223881175385637 - 0.19694435491281032	0.103	0.160	0.130	0.023	0
Sustrato	4	Calor específico	0.09333008174415408 - 0.11829547381140146	0.100	0.109	0.106	0.004	0
Sistema	6	Calor específico	0.08715752628359623 - 0.09565052001270007	0.087	0.095	0.091	0.003	0

El equipo de conductividad térmica se calibró con fibra de vidrio comparándose los resultados con datos bibliográficos los cuales fueron similares, ver ANEXO A. Para la elaboración de las pruebas de laboratorio se llevo a cabo un procedimiento aleatorio el cual se aprecia con más detalle en el ANEXO B. Para realizar el análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa AUDASYS¹⁹, el cual utiliza las pruebas de discordancia para muestras univariadas normales cuando la media y la varianza son desconocidas (modificado de Barnett y Lewis, 1994 y Verma, 2002) para descartar posibles valores desviados.

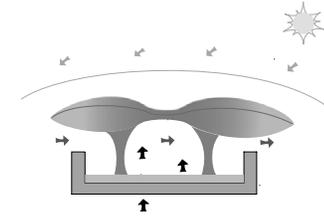
Con un límite de confianza de 99% y realizando de 4 a 6 repeticiones en cada muestra, no se encontraron errores.

¹⁹ Programa AUDASYS, Verma P. Surendra, Centro de Investigación en Energía, UNAM, 2008.



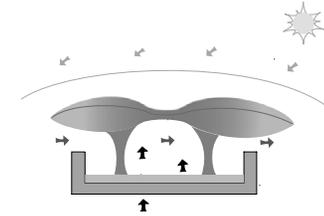
VIII.6 CÁLCULO TÉRMICO CON LA AZOTEA EXPUESTA. DÍA DE DISEÑO (26 DE JULIO DE 2008).

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación solar global (HT)	Humedad relativa	viento	Qload W	Temperatura interior °C
08:00:00	26.7	350.26	80	1.9	6181.76	27.0
09:00:00	27	491.36	73	1.9	8034.35	27.20
10:00:00	26.8	603.42	68	1.9	-2384.40	27.46
11:00:00	26.5	675.27	64	1.9	4794.92	27.38
12:00:00	26.1	700	62	1.9	-2011.84	27.53
13:00:00	26.7	675.27	62	1.9	6913.75	27.47
14:00:00	29	603.42	63	1.9	19029.72	27.69
15:00:00	30	491.36	65	1.9	19116.61	28.30
16:00:00	31.4	350.26	67	1.9	32482.47	28.92
17:00:00	32	195.47	70	1.9	29121.44	29.96
18:00:00	32.2	48.88	72	1.9	5740.06	30.90
19:00:00	32.1	0	75	1.9	10800.39	31.09
20:00:00	32.5	0	77	1.9	10957.25	31.43
21:00:00	32.6	0	79	1.9	16635.12	31.79
22:00:00	32.8	0	81	1.9	9221.57	32.32
23:00:00	32.1	0	83	1.9	-6574.34	32.62
00:00:00	29.5	0	84	1.9	-32915.03	32.41
01:00	28.7	0	85	1.9	-25729.23	31.35
02:00	28.2	0	86	1.9	-24762.59	30.52
03:00	27.2	0	87	1.9	-25367.57	29.72
04:00	27.2	0	88	1.9	-16531.84	28.91
05:00	27	0	88	1.9	-15551.86	28.38
06:00	26.8	48.88	90	1.9	-8241.31	27.88
07:00	26.6	195.47	86	1.9	-12458.47	27.61
PROMEDIO DIARIO W/h					270.87	



VIII.7 CÁLCULO TÉRMICO CON LA AZOTEA VERDE.

hora de inicio	Temperatura ambiente °C	Radiación solar global (HT)	Humedad relativa	viento	Qload W	Tcuarto sig hora	Diferencia °C	(-1 °C)Enfriamiento evaporativo	Disminución de temperatura
08:00:00	26.7	350.26	80	1.9	4025.81	27			
09:00:00	27	491.36	73	1.9	6022.12	27.13	0.07	26.13	1.07
10:00:00	26.8	603.42	68	1.9	-4607.51	27.32	0.14	26.32	1.14
11:00:00	26.5	675.27	64	1.9	2504.38	27.17	0.21	26.17	1.21
12:00:00	26.1	700	62	1.9	-4134.08	27.25	0.28	26.25	1.28
13:00:00	26.7	675.27	62	1.9	5015.34	27.12	0.35	26.12	1.35
14:00:00	29	603.42	63	1.9	17396.27	27.28	0.41	26.28	1.41
15:00:00	30	491.36	65	1.9	18063.59	27.84	0.47	26.84	1.47
16:00:00	31.4	350.26	67	1.9	32028.43	28.42	0.50	27.42	1.50
17:00:00	32	195.47	70	1.9	29401.77	29.44	0.53	28.44	1.53
18:00:00	32.2	48.88	72	1.9	6679.57	30.38	0.52	29.38	1.52
19:00:00	32.1	0	75	1.9	12078.28	30.59	0.49	29.59	1.49
20:00:00	32.5	0	77	1.9	12119.08	30.98	0.45	29.98	1.45
21:00:00	32.6	0	79	1.9	17727.61	31.37	0.42	30.37	1.42
22:00:00	32.8	0	81	1.9	10263.98	31.93	0.39	30.93	1.39
23:00:00	32.1	0	83	1.9	-5503.33	32.26	0.36	31.26	1.36
00:00:00	29.5	0	84	1.9	-31662.16	32.09	0.32	31.09	1.32
01:00	28.7	0	85	1.9	-24639.16	31.07	0.27	30.07	1.27
02:00	28.2	0	86	1.9	-23824.65	30.29	0.23	29.29	1.23
03:00	27.2	0	87	1.9	-24504.56	29.52	0.20	28.52	1.20
04:00	27.2	0	88	1.9	-15857.98	28.74	0.17	27.74	1.17
05:00	27	0	88	1.9	-14987.70	28.23	0.14	27.23	1.14
06:00	26.8	48.88	90	1.9	-7772.61	27.75	0.12	26.75	1.12
07:00	26.6	195.47	86	1.9	-13100.63	27.51	0.10	26.51	1.10
PROMEDIO DIARIO W/h					113.83				



VIII.8 COMPARATIVA

Tabla 24. GANANCIA Y FLUJO DE CALOR PROMEDIO EN LA AZOTEA EXPUESTA.

Área de azotea inclinada m ²	Ganancia de calor promedio W	Flujo de calor promedio al día en azotea inclinada W/m ²	Área de azotea horizontal m ²	Ganancia de calor promedio W	Flujo de calor promedio al día en azotea horizontal W/m ²
24.62	954.48	38.77	13.27	431.08	32.49

Tabla 25. GANANCIA Y FLUJO DE CALOR PROMEDIO EN LA AZOTEA VERDE.

Área de azotea inclinada m ²	Ganancia de calor promedio W	Flujo de calor promedio al día en azotea inclinada W/m ²	Área de azotea horizontal m ²	Ganancia de calor promedio W	Flujo de calor promedio al día en azotea horizontal W/m ²
24.62	266.02	10.81	13.27	128.29	9.67

TABLA 26. GANANCIA DE CALOR EN LA ENVOLVENTE (CÁLCULO DE AZOTEA EXPUESTA)

MUROS	LOSA	VENTANAS	GANANCIA DE CALOR TOTAL W
13%	56%	31%	58975.37

TABLA 27. GANANCIA DE CALOR EN LA ENVOLVENTE (CÁLCULO DE AZOTEA VERDE)

MUROS	LOSA	VENTANAS	GANANCIA DE CALOR TOTAL W
22%	26%	52%	36149.84

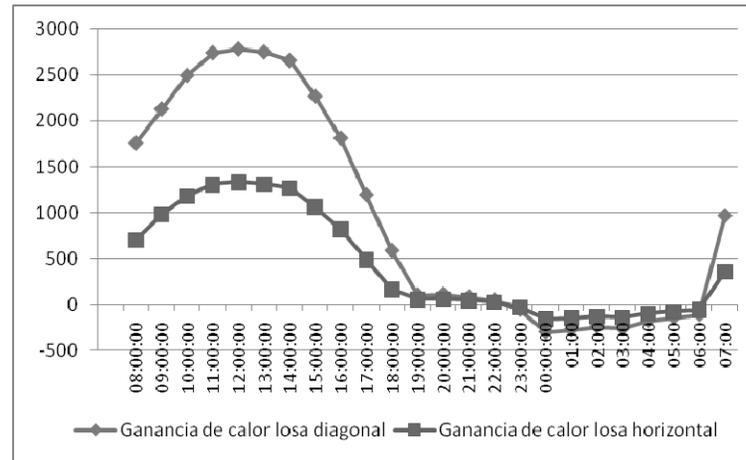
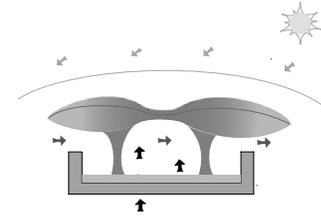


Imagen 44. Ganancia de calor horaria en Watt para azotea expuesta diagonal y horizontal.

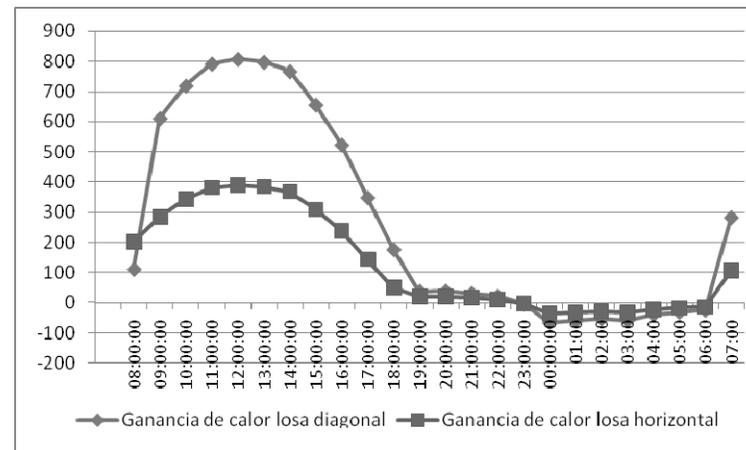
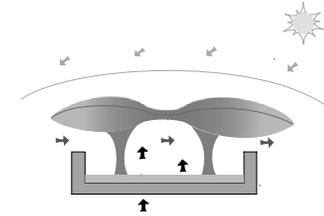


Imagen 45. Ganancia de calor horaria en Watt para azotea verde diagonal y horizontal.



IX. CONCLUSIONES

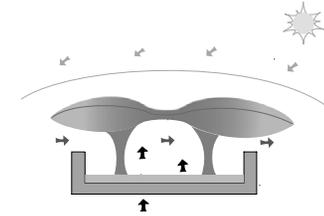
En todos los estudios que se han revisado concluyen que las cubiertas verdes mejoran el comportamiento térmico de los espacios habitados, porque actúan como un sistema de aislamiento térmico (pág. 21), en virtud de que el flujo de calor que atraviesa la superficie de la cubierta es menor que en una superficie expuesta (ver tabla 12). Se identificó que el uso de materiales aislantes no es recomendable ya que impide el flujo de calor del interior al exterior y por lo tanto el porcentaje de ahorro energético es mayor si no se utiliza (pág. 24).

A mayor tejido en las hojas se produce más dispersión térmica, es por eso que se recomienda utilizar especies con hojas suculentas. La presencia de cloroplastos incrementa la absorción térmica, esta es la razón por la cual las hojas suelen tener mayor reflectancia en el envés que en haz. La vellosoidad en algunas especies incrementa la reflectancia en el visible y el infrarrojo. Un típico color amarillo en la planta debido a la disminución del contenido en clorofila produce un incremento de la reflectancia en el visible (pág. 81); de acuerdo a esto habría que investigar en otro estudio el efecto de los colores (verde, amarillo y rojo) en la disminución de la temperatura en la superficie exterior e interior.

El follaje medio a alto (de 25 cm a 1 m) contribuye a retirar la carga térmica interior del edificio ya que facilita el flujo del aire y como consecuencia reducen la saturación de humedad dentro del dosel mejorando el proceso de evapotranspiración, aunado a su principal función que es actuar como un dispositivo sombreador. En contraste, un follaje corto permite el calentamiento del aire del dosel que hace invertir el flujo de calor. Los estomas u orificios de intercambio gaseoso abundan más en el envés que en el haz. Por ello la importancia de tener un follaje ventilado.

La vegetación es un factor muy importante debido a que, aunado a los factores climáticos del sitio, la cubierta puede actuar como un sistema de enfriamiento; es decir, con la utilización de un follaje denso con porte medio y en condiciones de baja humedad en el ambiente y velocidades de viento moderado se incrementa el proceso de evapotranspiración y por lo tanto el flujo de calor del interior al exterior es aumentado.

Las plantas pueden reducir la energía térmica de la radiación solar de 70% a 90% cuando la cobertura promedio es mayor del 40% y el grosor de la hoja es mayor de 2.25 mm. Cuando la cobertura promedio de la vegetación es de 20% a 50% y el espesor de la hoja es mayor de 2.7mm, puede conseguirse una reducción térmica de 70% al 80%. (pág. 47)



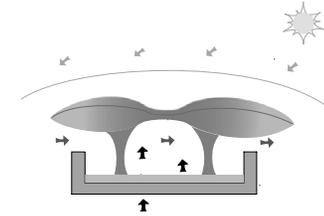
El coeficiente de extinción de la radiación en función de las propiedades ópticas de las hojas es de 1.10 para especies con hojas predominantemente horizontales y de 0.29 para especies con hojas predominantemente verticales (pág. 81), Por lo que es preferible utilizar hojas con distribución horizontal. Un suelo ligero, es decir la mezcla con algún material poroso permite un menor flujo de calor a través del techo, no solo proporciona mejor aislamiento por unidad de profundidad, además reduce la carga muerta.

La transpiración sobre el flujo de calor a través de una azotea plantada es pequeña, esto porque la transpiración afecta el flujo de calor indirectamente, esta tiende a enfriar el aire del follaje disminuyendo la temperatura del suelo.

El porcentaje de ahorro energético para enfriamiento en techos con vegetación sin aislamiento térmico y sin ventilación nocturna puede alcanzar un 45%. En el mismo escenario pero con ventilación nocturna el porcentaje de ahorro energético en enfriamiento puede llegar a 44% con 4CAH y 48% con 10 CAH (pág.24).

El cálculo con la azotea de concreto expuesta se inició a las 8:00 am, tomando como referencia la temperatura registrada en el interior de 27 °C con un termohigrómetro TES 1365 Datalogging, y la temperatura ambiente de 26.7 °C. Se tomaron en cuenta las propiedades ópticas y térmicas de los materiales de la envolvente, el flujo de calor por conducción, radiación solar directa, infiltración, ventilación y por usuarios. Por último se calculó la capacitancia total de la envolvente para obtener como resultado la ganancia total de calor y la temperatura en el interior horaria. El cálculo indica una diferencia de 0.21°C con respecto a la temperatura de inicio a las 8:00 a.m. y la temperatura final 24 hrs después. Lo cual indica una aproximación confiable al comportamiento térmico del espacio interior. En los resultados se puede apreciar que las temperaturas altas al exterior se registran a partir de las 14:00 a las 23:00 hrs., de las 13:00 a las 22:00 hrs se alcanza la mayor ganancia de calor y de las 17:00 a las 02:00 hrs se obtienen las temperaturas más altas al interior.

En el cálculo del sistema de azotea verde se ingresaron los resultados de la conductividad térmica de los materiales inertes, la absorptancia y emitancia de la vegetación. Se calculó la capacitancia de la envolvente integrando la densidad y el calor específico de los materiales (membranas y sustrato) y por último se realizó un cálculo de evapotranspiración tomando como referencia la ecuación de Hargreaves.



Cabe aclarar que la vivienda no incorpora estrategias de ventilación natural ni de protección solar, por lo que las condiciones térmicas al interior son de un escenario deficiente. Ambos cálculos se realizaron sin modificaciones en la envolvente. Tendría lugar en otro trabajo incluir en el cálculo de la azotea verde el comportamiento de la temperatura con escenarios distintos tanto de ventilación como de protección solar.

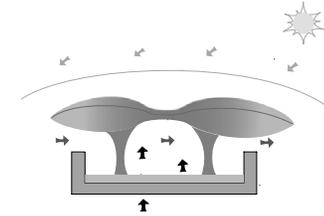
La ganancia total de calor promedio diaria fue de 270.87 Wh para el cálculo con la azotea de concreto expuesta y de 113.83 Wh con la azotea verde. En la comparativa se aprecia una disminución de la ganancia de calor en la azotea del 30% y la disminución de la ganancia de calor total de la envolvente con la azotea verde se redujo un 60% en comparación con el cálculo inicial. El flujo de calor promedio al día se redujo de 32.49 a 9.67 W/m² para la losa horizontal y 38.77 a 10.81 W/M² para la losa inclinada.

En la temperatura se aprecia una disminución en el horario extremo de las 14:00 hrs a las 21:00 hrs de 1.41 °C a 1.53 °C. Con un promedio de 1.30 °C.

El peso promedio del sistema fue de 70Kg/m² a capacidad de campo e incluyendo vegetación, en un espesor de 9 cm, (7 cm de sustrato y 2 cm de membranas). Con un costo aproximado de \$1,200.00 metro cuadrado.

El flujo de calor en la azotea verde fue de 10W/m² y en la azotea de concreto expuesta fue de 35W/m². Esto significa que el sistema de azotea verde aún aplicado en un clima desfavorable como es el cálido subhúmedo puede reducir el flujo de calor y la ganancia de calor en la azotea un promedio de Pueden esperarse resultados más favorables en espacios que incorporen estrategias de elementos de protección solar y ventilación debido a que la ganancia de calor por conducción y radiación solar directa en ventanas fue de 52% y en muros 22% del total. Esto indica que es indispensable la integración de más sistemas pasivos para reducir la temperatura hasta las condiciones de confort que se requieren. Sin embargo, como se desarrollo a lo largo del documento vale la pena utilizar la azotea verde ya que además de contribuir a mejorar la temperatura interior aporta beneficios económicos, ecológicos y estéticos.

Hace falta más investigación para mantener el contenido de humedad en el sustrato sin incrementar excesivamente el peso, así como mejorar el drenaje y la impermeabilización utilizando materiales reciclados.



VIII.8 LUGARES POTENCIALES EN LA RÉPUBLICA MEXICANA.

Tabla 28. ALGUNOS LUGARES CON CLIMA SIMILAR AL CASO DE ESTUDIO

ESTADO	CIUDAD
YUCATÁN	Mérida
COLIMA	Colima, Manzanillo
CHIAPAS	Tapachula, Tuxtla Gutiérrez
TAMAULIPAS	Ciudad Victoria
JALISCO	Puerto Vallarta
MICHOACÁN	Lázaro Cárdenas
NAYARIT	Riviera Nayarit
CAMPECHE	Campeche
SINALOA	Mazatlán, Culiacán
VERACRUZ	Poza Rica

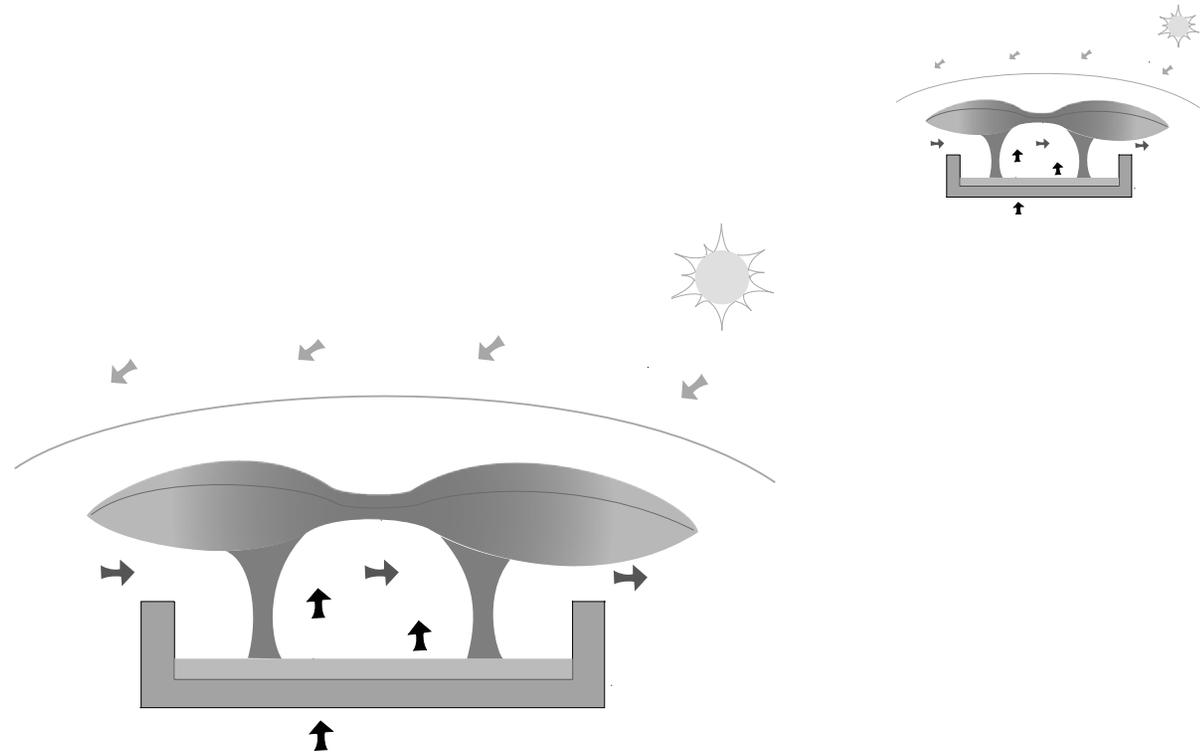


Imagen 43. Resumen del comportamiento térmico de la cubierta verde.

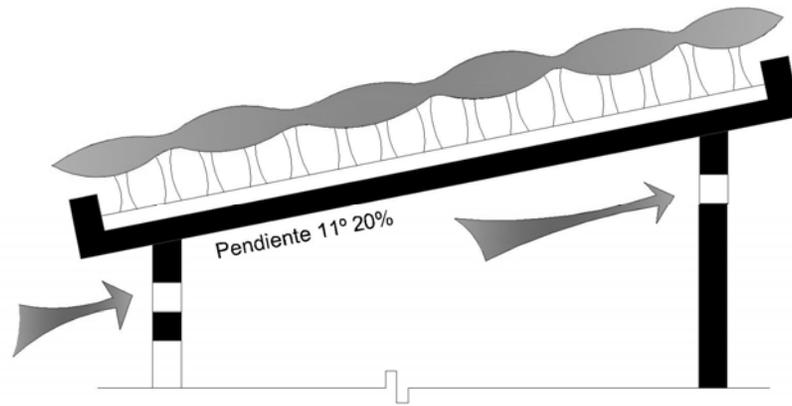
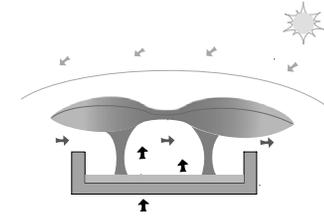


Imagen 44. Detalle de ventilación en muro para mejorar el sistema.



BIBLIOGRAFÍA

Izard Jean Luis, Guyot Alain. Arquitectura Bioclimática, GG, México 1983.

Olgay Victor . Arquitectura y clima, manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas, GG, Barcelona 1998.

Sanchez Ana, Gutierrez Ostiz, Cerramientos de edificios. Cubiertas, DOSSAT 2000, España, 2005.

Martínez Andres, Habitar la cubierta, GG, Barcelona, 2005.

Benevolo Leonardo, Historia de la arquitectura moderna, GG, Barcelona, 1999.

Serra Rafael. Arquitectura y Climas. GG, Barcelona,

Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda. Guía CONAFOVI (Uso eficiente de energía en la vivienda).

Simos Llanas, Evyatar Erell, Molina Jose Luis, Roof cooling techniques a design handbook, EARTHSCAN, USA, 2006.

Tippens Paul, Física, conceptos y aplicaciones, Mc Graw Hill, 6ª Ed., México, P. 385-420, 2001.

ARTÍCULOS

Wong Nyuk Hien, Tan Puay Yok, Chen Yu, Study of the termal performance of extensive rooftop greenery system in the tropical cimete, Building and Environment, 42, (25-54) 2007.

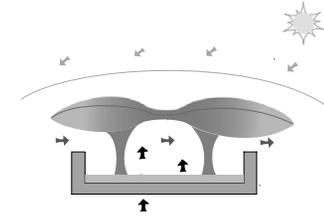
Palomo del Barrio Elena, Analysis of the cooling potential of green roofs in buldings, Energy and buildings, 27: 179-193, 1998.

Kohler M. etal, Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics. Far beond the aesthetics, Environmental Management and Health, 13(4): 382-391, 2002.

Sonne Jeff, Evaluating green roof energy performance, ASHRAE journal, Vol. 48, 2006.

Niachou N., Papakonstantinou K., Santamouris M., Tsangrassoulis A., and Mihalakakou G., Analisys of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, Energy and Buildings, 33: 719-729. 2001.

Theodosiou T., Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique, Energy and Buildings, 35: 909-917, 2003.



Joost Van Hoof et al, The historical turf farms of Iceland: Architecture, building technology and the indoor environment, *Building and Environment*, 43, (1023-1030) 2008.

Fang Fang Chih, Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops, *Energy and buildings* 40 (1048-1052), 2007.

NORMA

ASTM C177, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, p.33.

INTERNET

Dunnett Nigel, Kingsbury Noel, *Planting Green Roofs and Living Walls*, Timber Press, 2004.

URL <http://books.google.com.mx/>

Factores climatológicos.

URL www.inegi.com.mx

Uso eficiente de la energía en la vivienda.

URL <http://www.conafovi.gob.mx>

Green roof in hot humid climate.

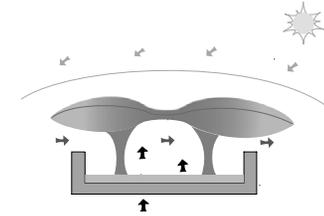
URL <http://www.fsec.ucf.edu/en/media/newsletters/brpost/winter2006/index.htm>

Manfred Köhler et al, Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate

URL http://www.tt.fh-koeln.de/publications/ittpub301202_10.pdf

Köhler, Manfred et al, green roofs in temperate climates and in hot humid tropics far beyond the aesthetics, environmental management and health, volume 13, number 4, pp. 382-391, 2002

URL <http://www.ingentaconnect.com/content/mcb/1083/2002/00000013/00000004/art00007>



Sánchez San Román F. Javier, Depto. Evapotranspiración, departamento de Geología, Universidad de Salamanca, 2006.

URL <http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/T040.pdf>

Machado María V., El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica, ambiente construido, vol. 3, p. 65-76, España 2003. URL

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/705/790>

Vecchia Francisco et al. Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo de techumbres convencionales, tecnología y construcción no. 2, Caracas 2006. Avisas

URL http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-96012006000200002&lng=es&nrm=iso

Características espectrales de la vegetación.

http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/caracteristicas_vegetacion.htm

IMÁGENES

Imagen 1. Detalle de cubierta en Escandinavia.

Encyclopedia of vernacular architecture of the world, Cambridge university, USA, Vol. 2, p.360, 1997

Imagen 2. Planta Tercer nivel y vista de la terraza jardín del Ministerio de Educación y Salud. Río de Janeiro Brasil.

URL <http://www.plataformaarquitectura.cl/2007/02/17>

Imagen 3. Vista aérea de la terraza del Ministerio de Educación y Salud en Río de Janeiro Brasil.

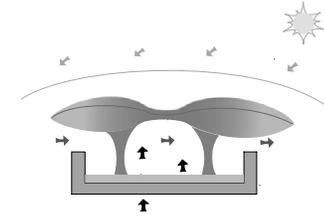
Imagen 4. Cubierta naturada en Río de Janeiro diseñada por Roberto Burle Marx.

URL Foto de © Kohler et al, Enviromental Management and Health, 2002.

Imagen 7. Reducción de la ganancia de calor a través de la estructura y reducción del efecto isla de calor.

URL <http://www.plataformaurbana.cl/archive/2005/11/06/proyecto-de-cubiertas-verdes-gana-el-holcim-awards-2005/>

Imagen 8. Mayor estabilidad de la temperatura interior en el día y en la noche.



Simos Llanas, Evyatar Erell, Molina Jose Luis, Roof cooling techniques a design handbook, EARTHSCAN, USA, 2006.

Imagen 9. Capas en el techo plantado, características y representación de nodos.

Theodosiou et al, Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique, Energy and Buildings, 35: 909-917, 2003.

Imagen 10. Cubierta vegetal y cubierta convencional 18 de Agosto de 2005.

Imagen 11. Diagrama con la localización de los sensores.

Imagen 12. Diagrama de una sección del edificio

Sonne Jeff, Evaluating green roof energy performance, ASHRAE journal, Vol. 48, p.59-60, 2006.

Imagen 13. Temperaturas superficiales de los prototipos de losa de concreto y cubierta verde.

Vecchia Francisco et al. Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo de techumbres convencionales, tecnología y construcción no. 2, Caracas 2006. Avisas

Imagen 23. Reducción del escurrimiento de lluvia en cubierta vegetal extensiva. Comparación de diferentes espesores de sustrato.

Imagen 25. Retención de agua y la demora en el drenaje de una cubierta verde de 8cms de capa de tierra comparada con una cubierta plana en Berlín.

Kohler M. et al, Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics. Far beyond the aesthetics, Environmental Management and Health, 13(4): 382-391, 2002.

Imagen 26. Sistema de medición interior.

Imagen 27. Sistema de medición exterior.

Imagen 29. Reducción térmica para varios CR y TLTs de *Cordiaum variegatum*

Imagen 30. Mapa de la reducción térmica promedio por plantas.

Fang Fang Chih, Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops, Energy and buildings 40 (1048-1052), 2007.

Imagen 31. Detalle en remate perimetral

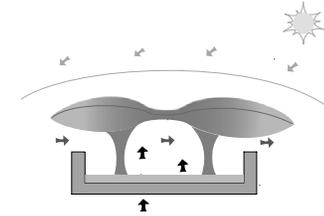


Imagen 32. Detalle de junta estructural

Imagen 33. Detalle constructivo azotea aljibe

Sánchez Ana, Gutiérrez Ostiz, Cerramientos de edificios. Cubiertas, DOSSAT 2000, España, 2005.

Imagen 34. Detalle constructivo

Imagen 35. Detalle en desagüe

Simos Llanas, Evyatar Erell, Molina Jose Luis, Roof cooling techniques a design handbook, EARTHSCAN, USA, 2006.

Imagen 38. Ubicación Geográfica en el Estado de Guerrero

Imagen 39. Ubicación de climas dentro del Municipio

Imagen 40. Ubicación del clima Aw(0).

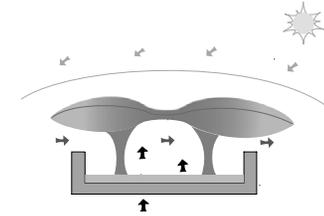
INEGI, Cuaderno estadístico Municipio

Imagen 41. Localización de la vivienda.

Google earth

Imagen 42. Dirección del viento

SMN Estaciones meteorológicas automáticas del 22 al 28 de julio de 2008.



GLOSARIO

Azotea Verde. (Cubierta Vegetal, cubierta Ecológica, Cubierta Naturada, Cubierta Jardín).

Sistema de construcción en la azotea que permite la adaptación de vegetación, formado por varias capas de materiales ligeros para protección y drenaje.

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.

Convección. La convección se produce únicamente en materiales fluidos. Estos al calentarse disminuye su densidad y ascienden al ser desplazados por las porciones superiores que se encuentran a menor temperatura. Lo que se llama convección es sí es al transporte de calor por medio de las parcelas de fluido ascendente y descendente.

Radiación solar. Conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, mas cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera.

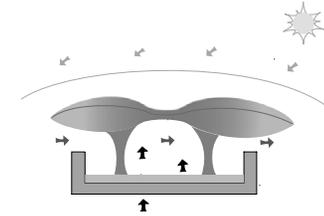
Difusividad. Expresa la capacidad de un material para transmitir un variante de temperatura. M^2/s

Advección. Desplazamiento horizontal, meridiano o zonal de una masa de aire, lo que provoca cambios de tiempo y transferencias de calor de unas zonas a otras de la superficie terrestre.

Emitancia. Es un indicador numérico de la propiedad que tiene un material de emitir radiación térmica comparada con el que emite un cuerpo negro a la misma temperatura.

Calor sensible. Al que aplicado a una sustancia, hace subir su temperatura. El nombre proviene de la oposición a calor latente. Este es calor escondido, se suministra pero no se nota el efecto de aumento de temperatura sobre la sustancia, como un cambio de fase de líquido a vapor; en el calor latente, se nota.

Radiación solar. Consiste en la radiación de onda corta emitida a muy alta temperatura.



Radiación térmica. Consiste en la radiación infrarroja emitida en onda larga.

Irradiancia. Magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra (energía por unidad de tiempo y área)

Densidad. Es la propiedad que relaciona el volumen y la masa de los cuerpos.

Calor latente. Es la energía absorbida por las sustancias al cambiar de estado de sólido a líquido (calor latente de fusión) o de líquido a gaseoso (calor latente de vaporización).

Albedo. Es la relación, expresada en porcentaje de la radiación que cualquier superficie refleja sobre la radiación que incide sobre la misma.

Confort higrotérmico. Hay confort higrotérmico cuando no tienen que intervenir los mecanismos cuando no tienen que intervenir los mecanismos regulares del cuerpo para una actividad sedentaria y con un ligero arropamiento.

Calor específico. O capacidad calorífica, de una sustancia es una magnitud física que indica la capacidad de un material para almacenar energía interna en forma de calor. Es la energía necesaria para incrementar en una unidad de temperatura una cantidad de sustancia.

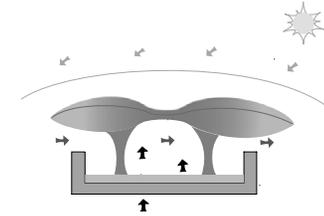
Isla de calor. Elevación de la temperatura en zonas urbanas densamente construidas.

Oscilación térmica. Es la diferencia entre la temperatura más alta y la más baja registrada en un lugar o zona urbana un periodo de tiempo.

Temperatura sol aire. Es una variable usada para calcular la carga de enfriamiento de un edificio y determina la ganancia total de calor de la superficie exterior.

Absortancia. Relación entre el flujo de radiación absorbida por una superficie y la radiación total que incide sobre ella. También llamada coeficiente de

Conductividad térmica. Es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor.



ANEXO A

CONDUCTIVÍMETRO

Modelo: Instrumento de conductividad térmica RAPID K

Dynotech R/D COMPANY Cambridge Mass

PROCEDIMIENTO DE USO:

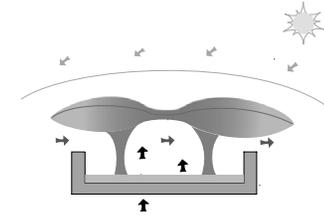
Se utiliza la variación de temperatura y el espesor de la muestra para calcular la conductividad térmica. Debido a que el dato que se puede obtener por el momento del equipo es solo el valor de Q = el flujo de calor.

- Estabilización del equipo sin nada dentro aproximadamente 24 hrs.
- Calibración del equipo con fibra de vidrio
- Seleccionar la temperatura máxima (superficie inferior), mínima (superficie superior).
- Introducir la muestra y fijarla con la palanca ubicada en la parte lateral del equipo.
- Encender el botón blanco de inicio, el foco rojo empezará a oscilar hasta que llega a las temperaturas seleccionadas.
- El registro de los datos (valor de Q) es de forma manual.

Las temperaturas no pueden ser menores a 20C.

T_c = Temperatura superficie fría

T_d = Temperatura superficie caliente



CALIBRACIÓN DEL CONDUCTIVÍMETRO.

La calibración del equipo de conductividad inició el día 03 de agosto de 2008, se realizó mediante el procedimiento que indica su especificación. Fue introducida una muestra de fibra de vidrio de 30 x 30 cm, con un espesor de 5.4 cm, la estabilización del flujo de calor duró aproximadamente 24hrs. Las temperaturas seleccionadas fueron 10 C Temperatura Mínima y 50 C Temperatura Máxima.

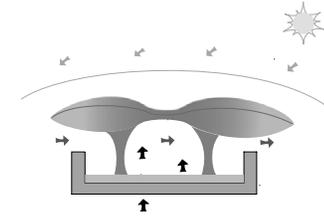
El día 4 de agosto se introdujo la caja de madera de 30 x 30cm de área por 8.6 cm de espesor, la cual se utilizará para introducir las muestras a medirse en el equipo de conductividad térmica.

El día 3 de noviembre de 2008 se introdujo la muestra de fibra de vidrio con un espesor de 6 cm, obteniéndose un valor de conductividad térmica de 0.0407 W/m °C acercándose al valor de 0.40 W/m°C que marca la norma ASTM C177.²⁰



Introducción de la caja de madera

²⁰ ASTM C177, Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus, p.33.



Para la secuencia de la medición de las muestras se realizó un procedimiento aleatorio, básicamente para minimizar los errores provenientes de factores externos o ambientales. Se coloca la primera muestra a las 8:30 am y tomando el registro del dato a las 8:30 pm e introduciendo posteriormente otra muestra de acuerdo a la ordenación.

El valor de la conductividad térmica se obtiene mediante la siguiente ecuación:²¹

$$K = (QL/\Delta T) * A$$

Donde:

L= Espesor de la muestra

A= Área de la muestra

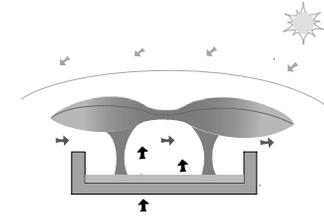
Q= Flujo de calor

ΔT = Diferencia de temperaturas

El valor del calor específico se obtiene con la siguiente ecuación:

$$C_p = Q/\Delta T$$

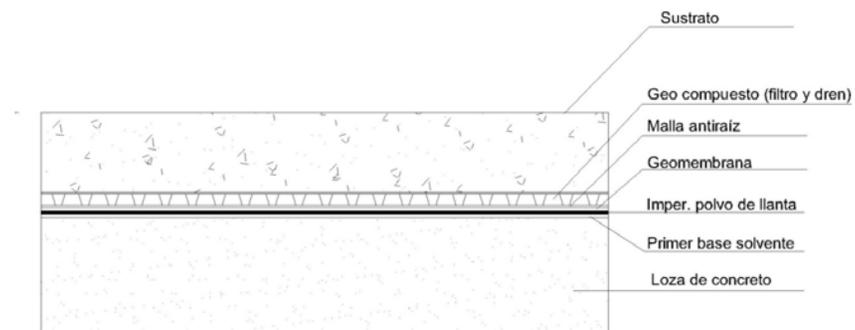
²¹ Tippens Paul, Física, conceptos y aplicaciones, Mc Graw Hill, 6ª Ed., México, P. 385-420, 2001.



ANEXO B

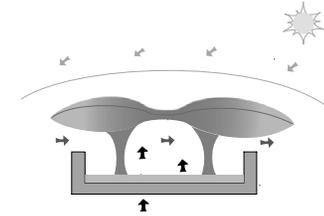
PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN EN LABORATORIO

- Factor 1. Geomembrana de PVC con refuerzo de poliéster. COMATEPLA
- Factor 2. Malla Anti raíz de polipropileno tejido.
- Factor 3. Membrana impermeabilizante de llanta reciclada.
- Factor 4. Geocompuesto (dren y filtro) PAVIDREN
- Factor 5. Sustrato
- Factor 6. Sistema completo



SISTEMA 1

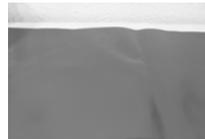
F1	F2	F3	F4
F1a, F1b, F1c, F1d	F2a, F2b, F2c, F2d	F3a, F3b, F3c, F3d	F4a, F4b, F4c, F4d



PROCEDIMIENTO ALEATORIO

DIA	MUESTRA	DIA	MUESTRA
03/11/2008	Fibra de vidrio		
05/11/2008	CAJA	24/11/2008	F1d
05/11/2008	F1a	25/11/2008	F4d
06/11/2008	F2a	25/11/2008	F3d
06/11/2008	F4a	26/11/2008	sustrato
07/11/2008	F3a	26/11/2008	sustrato
08/11/2008	F3b	28/11/2008	sustrato
18/11/2008	F1b	28/11/2008	sustrato
19/11/2008	F2b	01/12/2008	s. completo
19/11/2008	F4b	02/12/2008	s. completo
20/11/2008	F1c	02/12/2008	s. completo
20/11/2008	F4c	03/12/2008	s. completo
21/11/2008	F2c	04/12/2008	s. completo
21/11/2008	F3c	16/01/2009	Fibra de vidrio
22/11/2008	F2d	19/01/2009	s. completo

F1



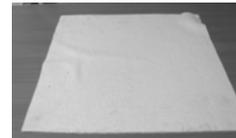
Geomembrana PVC 0.5mm

F2



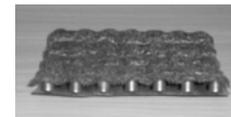
Malla de polipropileno 0.3mm

F3

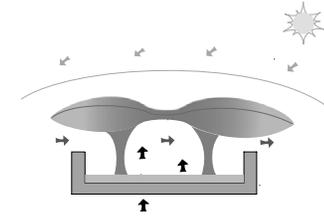


Memb. de llanta reciclada 2mm

F4



Geocompuesto de 1cm.



ANEXO C

EVAPOTRANSPIRACIÓN.

Es la consideración conjunta de dos procesos diferentes, la evaporación y la transpiración, la evaporación es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor producida desde la superficie del suelo y la vegetación. La transpiración es el fenómeno biológico en el que las plantas pierden agua a la atmósfera a través de sus estomas. Como es difícil medir por separado ambos fenómenos se consideran conjuntamente bajo el concepto de evapotranspiración.²²

Factores que influyen en la evapotranspiración:

- Radiación solar
- Temperatura
- Humedad (menor humedad => más evaporación)
- Presión atmosférica (y la altitud en relación con ella) a menor presión (y/o mayor altitud) => mas evaporación.
- Viento mas viento=> más evaporación.

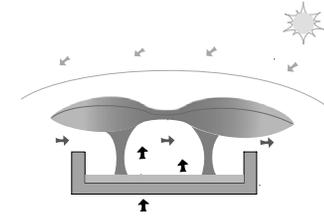
La transpiración está en función de:

- El poder evaporante de la atmósfera
- El grado de humedad del suelo
- El tipo de planta

Cálculo de la evapotranspiración diaria mediante la fórmula de Thornthwaite

- 1) Se calcula un “índice de calor mensual”(i) a partir de la temperatura media mensual (t):

²² Sánchez San Román F. Javier, Depto. Evapotranspiración, depto. de Geología, Universidad de Salamanca, 2006.



$$(i) = [t / 5]^{1.514}$$

2) se calcula el “índice de calor anual I sumando los doce valores de i:

$$I = \sum i$$

2) se calcula ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{\text{sin corre}} = 16 \{10 \cdot t / I\}^a$$

Donde $ETP_{\text{sin corre}}$ = ETP mensual en mm/mes para meses de 30 días y doce horas de sol (teóricas)

(t) = temperatura media mensual en °C

I = índice de calor anual (obtenido en el punto 2)

$$(a) = 6.75 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0.49239$$

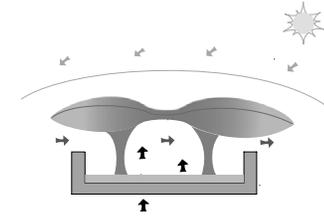
4) corrección para el n° de día del mes y n° de días de sol:

$$ETP = ETP_{\text{sin corre}} \cdot N / 12(d/30)$$

Donde ETP = Evapotranspiración total corregida

N = número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud (tabla 1. APÉNDICE A)

(d) = número de días del mes.



ANEXO D

Cálculo de la evapotranspiración diaria: Fórmula de Hargreaves

$$E_{to} = 0.0023 (T_{med} + 17.78) R_o * (T_{dmax} - T_{dmin})$$

Donde:

E_{to} = Evapotranspiración potencial diaria mm/día

T_{med} = Temperatura media diaria °C

R_o = Radiación solar extraterrestre en mm/día

$R_o = M_j/m^2/día \times 0.408 = mm/día$

T_{dmax} = Temperatura máxima diaria

T_{dmin} = Temperatura mínima diaria

$$M_j/m^2 = [(W/m^2) * 3.6 \text{ Kj/W}] / 10^3$$

Día 26 de julio de 2008.

$$\text{Radiación promedio} = [417.66 \text{ W/m}^2 * 3.6] / 10^3 = 1.503576 \times .408 = 0.613459 \text{ mm/día}$$

$$T_{med} = 29.07^\circ\text{C}$$

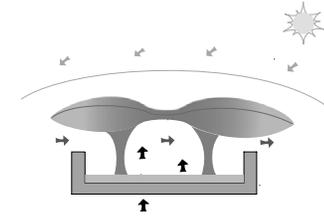
$$T_{dmax} = 32.80^\circ\text{C}$$

$$T_{dmin} = 26.10^\circ\text{C}$$

6.7

$$E_{to} = 0.0023 (29.07 + 17.78) 0.613459 * (32.80 - 26.10) = 0.4428919 \text{ mm/día}$$

0.443



ANEXO E

Coeficiente de extinción K_s en función de las propiedades ópticas de las hojas.

$$K_s = [(1 - T_t)^2 - P_t^2]^{1/2} K_1$$

K_1 = Coeficiente de extinción de la radiación de onda larga.

T_t = Transmitancia de la hoja

P_t = Reflectancia de la hoja

COEFICIENTE DE EXTINCIÓN DE LA RADIACIÓN DE ONDA LARGA.

Distribución de hojas	K_1
Horizontal	1; 1.05
Cónica ($\alpha 45^\circ$)	0.829
Vertical ($\alpha 90^\circ$)	0.436
Esférica	0.684; 0.81

α = ángulo entre las hojas y un plano horizontal.

El dosel absorbe $(1 - T_1)$ de radiación de longitud de onda larga que recibe.

La transmitancia de onda larga $T_1(LAI)$ definido como el cociente entre el flujo radiante de onda larga entrando en la superficie superior o inferior de una sección del dosel y el flujo que se va del otro lado de la sección.

$$T_1(LAI) = \exp(-K_1 LAI)$$

La transmitancia de longitud de onda corta para radiación difusa de un dosel.

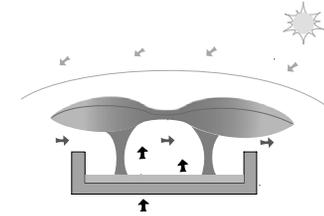
$$T_s(LAI) = \exp(-K_s LAI)$$

$K_s = 1.10$ para especies con hojas predominantemente horizontales.

$K_s = 0.29$ para especies con hojas predominantemente verticales.

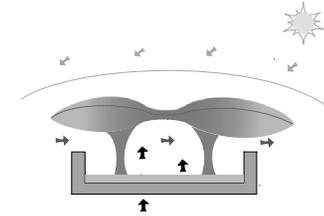
LAI = Rango de 0.5 a 5.0

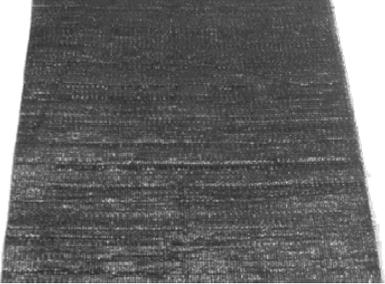
Representa la fracción de la superficie del techo que está directamente cubierto por 1 o más hojas.

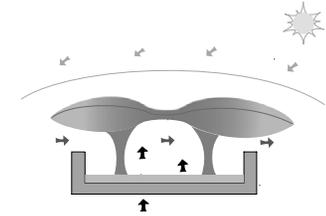


ANEXO F

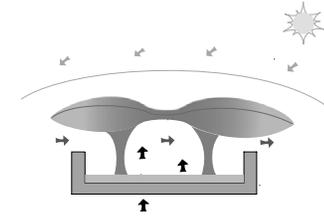
NOMBRE DE LA EMPRESA:	COMERCIALIZADORA LA MARINA	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Blvd. Manuel Avila Camacho No. 570	
TELÉFONOS:	5220.2960	
PÁG WEB:	www.lonaslamarina.com.mx/	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	Plastigeo	
DESCRIPCIÓN:	Geomembrana de PVC con refuerzo de poliéster.	
Presentación:	1.60 m ancho x	
Peso:	610 g/m ²	
Espesor:	0.48 mm	
Conductividad térmica:	0.001 W/ m °C	
Calor específico:	0.174 KJ/ Kg °C	



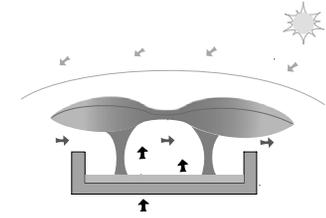
NOMBRE DE LA EMPRESA:	ARPIPLASTIC	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Miguel Hidalgo no. 867, Col Sta. Ma. Aztahuacán, México D.F.	
TELÉFONOS:	56 91 26 23, 56 40 52 07	
PÁG WEB:	www.arpiplastic.com.mx	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	Malla Ground cover	
DESCRIPCIÓN:	Fabricada con monofilamento plano de polipropileno de alta densidad y estabilizada con aditivos y antioxidantes para protección contra los rayos U.V.	
Presentación:	Rollo de 3.65 m de ancho x 100 m largo	
Peso:	142.4 g/m ²	
Espesor:	0.58 mm	
Conductividad térmica:	0.002 W/ m °C	
Calor específico:	0.173 KJ/ Kg °C	

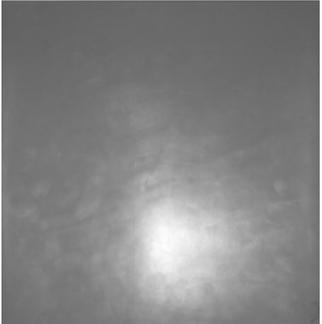


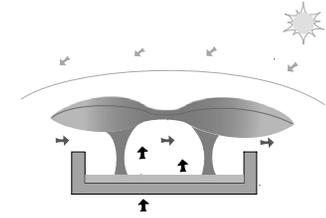
NOMBRE DE LA EMPRESA:		IMAGEN
DIRECCIÓN:		
TELÉFONOS:		
PÁG WEB:		
NOMBRE DEL PRODUCTO:	Membrana impermeable de llanta reciclada	
DESCRIPCIÓN:		
Presentación:		
Peso:		
Espesor:	2 mm	
Densidad:		
Conductividad térmica:	0.005 W/ m °C	
Calor específico:	0.169 KJ/ Kg °C	



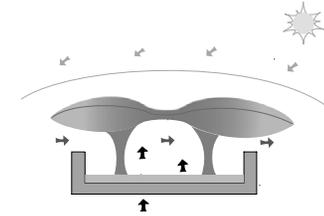
NOMBRE DE LA EMPRESA:	GEOPRODUCTOS MEXICANOS	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Fco I Madero 113, Barro San Miguel, 08650 Iztacalco, México, D.F	
TELÉFONOS:	85936000 AL 03	
PÁG WEB:	www.geoproductos.com.mx/geoweb/principal.html	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	DREN PREFABRICADO AMEDRAIN 500	
DESCRIPCIÓN:	Núcleo drenante prefabricado de poliestireno recubierto por un filtro textil de polipropileno no tejido.	
Presentación:	En rollo ancho 1.22 m x 31.7 m de largo.	
Peso:	0.93 kg/m ²	
Espesor:	11 mm de relieve,	
Drenaje:	flujo 200l/min-m	
Conductividad térmica:	0.030 W/ m °C	
Calor específico:	0.130 KJ/ Kg °C	

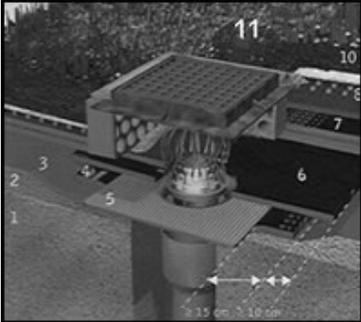


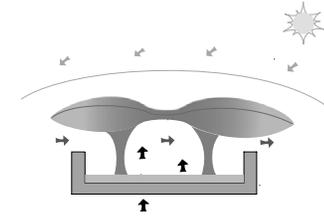
NOMBRE DE LA EMPRESA:	GEOPRODUCTOS MEXICANOS	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Fco I Madero 113, Barro San Miguel, 08650 Iztacalco, México, D.F	
TELÉFONOS:	85936000 AL 03	
PÁG WEB:	www.geoproductos.com.mx/geoweb/principal.html	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	MEMBRANA DE PVC GEOVIN	
DESCRIPCIÓN:	Membrana impermeable de pvc de 1mm	
Presentación:		
Peso:		
Espesor:		
Conductividad térmica:		
Calor específico:		

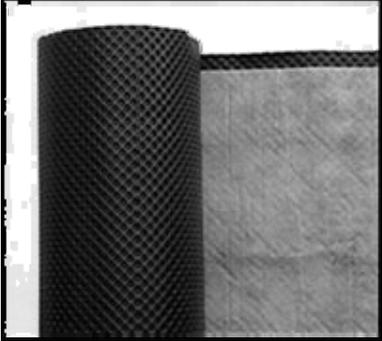


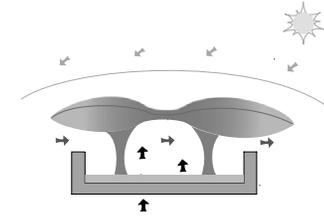
NOMBRE DE LA EMPRESA:	SIKA MEXICANA	IMAGEN
DIRECCIÓN:		
TELÉFONOS:	26 26 54 30 al 37	
PÁG. WEB:	www.sika.com.mx/	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	SIKALASTIC-445	
DESCRIPCIÓN:	Es un recubrimiento con base en poliuretano de un solo componente, base solvente, alta elasticidad, cura con la humedad del ambiente. Impermeabilización de cubiertas planas, cubiertas ajardinadas, balcones, terrazas. Resistente a raíces y presencia de humedad constante.	
Datos del producto.	Cubeta de 21 kg, 15 lt.	



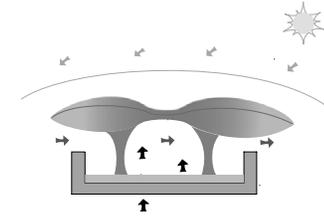
NOMBRE DE LA EMPRESA:	THERMOTEK	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Av. López Mateos#23, Col. Puente de vigas, Tlalnepantla Edo de Méx.	
TELÉFONOS:	91720700 al 02	
PÁG. WEB:	www.grupothermotek.com	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	CHOVATEK GARDEN	
Datos del producto:	Membrana impermeabilizante de asfalto modificado con SBS, (estireno-butadienoestireno) que le proporciona características de alta funcionalidad, con herbicidas especiales con la función específica de repeler las raíces de las plantas. Con acabado en la cara superior de gravilla y acabado inferior de polietileno.	
Presentación:	Presentación en rollo, dimensiones 1 x 8 m	
Peso:	150 g/m ²	
Espesor:	4 mm	
Conductividad térmica:		
Calor específico:		



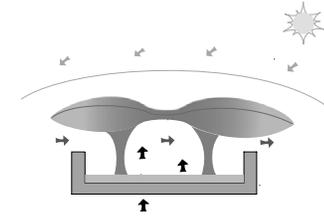
NOMBRE DE LA EMPRESA:	THERMOTEK	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Av. López Mateos#23, Col. Puente de vigas, Tlalnepantla Edo de Méx.	
TELÉFONOS:	91720700 al 02	
PÁG WEB:	www.grupothermotek.com	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	CHOVATEK DREN DD	
DESCRIPCIÓN:	Es una lámina de polietileno de alta densidad con un geotextil de fieltro de poliéster.	
Presentación:	2 x 20 m	
Peso:	Peso 500 g/m ²	
Espesor:	Relieve 8 mm, 0.6mm espesor	
Drenaje:	5 l/m.s	
Conductividad térmica:		
Calor específico:		

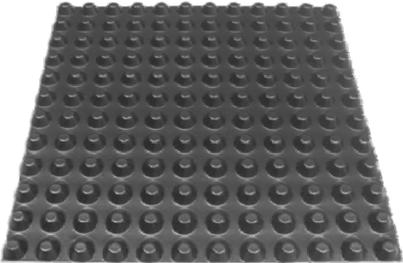


NOMBRE DE LA EMPRESA:	TEXA América	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Electrón no.16, Parque industrial Naucalpan. Edo de México.	<p>Una fotografía que muestra una fila de módulos de drenaje instalados en una superficie plana. Los módulos son de color oscuro y están espaciados uniformemente.</p>
TELÉFONOS:	53 00 06 52/ 53 12 23 90	
PÁG WEB:	www.texsaamerica.com.mx	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	Dren impact jardín	
DESCRIPCIÓN:	Sistema drenante compuesto de una membrana de nódulos de poliestireno perforado y dos cubiertas de geotextil de polipropileno a ambos lados.	
Presentación:	Rollo 32 m largo x 1.25 m de ancho.	
Peso:	1.112 kg/m ²	
Espesor:	11.1 mm	
Drenaje:	2 l/m ² s	
Reserva de agua:	1.6 l/m ²	
Conductividad térmica:		
Calor específico:		



NOMBRE DE LA EMPRESA:	TEXA América	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Electrón no.16, Parque industrial Naucalpan. Edo de México.	
TELÉFONOS:	53 00 06 52/ 53 12 23 90	
PÁG WEB:	www.texsaamerica.com.mx	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	Moply FP	
DESCRIPCIÓN:	Lámina impermeabilizante no protegida, de betún plastomérico APP, con tratamiento antiraíces en su masa, con armadura de fieltro de poliéster FP y acabado en film termofusible en ambas caras. Se puede aplicar en cubiertas ajardinadas con pendiente entre 1% y 15%.	
Presentación:	rollo 10 m de largo x 1 m de ancho.	
Peso:	4 kg/m ²	
Espesor:	4 mm	
Conductividad térmica:		
Calor específico:		



NOMBRE DE LA EMPRESA:	ONDULINE MÉXICO	IMAGEN
DIRECCIÓN:	Ejercito Nacional #1112 Colonia Polanco México D.F.	
TELÉFONOS:	55572711	
PÁG WEB:	www.onduline.com.mx	
NOMBRE DEL PRODUCTO:	MEMBRANA FONDALINE PLUS	
DESCRIPCIÓN:	Es una membrana de Polietileno de alta densidad y elevada resistencia a la compresión. Para proteger todo tipo de cimentaciones y muros de edificación, viviendas, y obra civil.	
Presentación:	Rollo 2 m x 20 m	
Peso:	600 g/m ²	
Espesor:	Altura 8 mm, espesor 7 mm	
Drenaje:	5 l/m ² .s	
Conductividad térmica:		
Calor específico:		