



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

FACHADA VEGETAL

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo
para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Tesis que para optar por el grado de:
Maestra en Arquitectura

Presenta:

Rocío Areli González Hernández

Tutor:

Dr. Miguel Arzate Pérez
Universidad Nacional Autónoma de México

Comité:

Mtro. Ernesto Ocampo Ruíz (Facultad de Arquitectura, UNAM)
Mtro. Leonardo Zeevaert Alcántara (Facultad de Arquitectura, UNAM)
Mtro. Francisco Reyna Gómez (Facultad de Arquitectura, UNAM)
Mtro. Jorge Rangel Dávalos (Facultad de Arquitectura, UNAM)

México, D.F. Enero, 2015.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

FACHADA VEGETAL

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para
mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

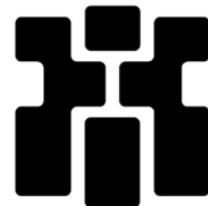
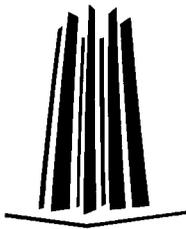
Tesis que para obtener el grado de

Maestra en Arquitectura

Presenta:

ROCÍO ARELI GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA



México, D.F. Enero, 2015.

Director de Tesis:

Dr. Miguel Arzate Pérez

Sinodales:

Mtro. Ernesto Ocampo Ruíz

Mtro. Leonardo Zeevaert Alcántara

Mtro. Francisco Reyna Gómez

Mtro. Jorge Rangel Dávalos

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme la oportunidad de ingresar a este programa y por la confianza depositada para que esta meta se llevara a cabo.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por el apoyo económico para que esto fuera posible.

A la **empresa de prefabricados PRETECSA** por facilitarme los materiales para realizar esta investigación.

A **mis maestros** por sus enseñanzas, palabras y experiencias que me mostraron la importancia de hacer una buena Arquitectura. Y por sembrar en mí la visión tecnológica en este campo de las artes.

A **todos mis compañeros de maestría y amigos** que estuvieron allí brindándome su apoyo y cariño. Por sus comentarios e ideas que me mantuvieron en el camino de la investigación.

A **mis padres** que aunque están lejos, nunca dejan de estar cerca con una llamada y aliento de apoyo, gracias por su amor incondicional que hacen de mí una mejor persona en busca de nuevas metas. Gracias por impulsarme a seguir aprendiendo y no dejarme caer en los momentos difíciles. Por estar su esencia conmigo siempre.

A **mis hermanos** por sus pequeños consejos pero tan sabios que olvido ser la hermana mayor. Por estar siempre cuando los necesito y que con una sonrisa, todo va mejor.

A **ti Alexs**, porque contigo mi mundo es mejor.

ÍNDICE

Introducción

Capítulo I.- Uso de Vegetación en la Arquitectura.....	5
1.1 Antecedentes en la arquitectura vernácula.....	5
1.2 Aplicación de Vegetación en las envolventes.....	8
1.2.1 A nivel internacional.....	13
1.2.2 A nivel nacional.....	18
1.3 Beneficios Térmicos.....	21
1.4 Beneficios psicológicos y medioambientales.....	25
1.4.1 En la Ciudad.....	25
1.4.2 En la Arquitectura.....	28
1.4.3 Con el Hombre.....	29
1.5 Arquitectura Verde: una Tendencia.....	31
Capítulo II.- Sistema de Fachadas Verdes.....	38
2.1 Descripción de los Diferentes Sistemas en el Mercado.....	42
2.1.1 Hidropónico.....	42
2.1.2 Modulares.....	44
2.1.3 Para plantas trepadoras.....	46
2.1.4 Taludes.....	47
2.1.5 Para Interiores.....	47
2.2 Propiedades de la Vegetación.....	49
2.3 Características del Sustrato.....	54
2.4 Uso del Sistema de Riego.....	57
2.5 Paneles Prefabricados.....	59
2.5.1 Materiales.....	61
2.5.2 Sistemas de anclaje a estructura.....	64

Capítulo III.- Prototipo: Panel Vegetal.....	67
3.1 Metodología.....	67
3.2 Diseño y Fabricación de Propuesta.....	69
Capítulo IV.- Modelo de Experimentación.....	78
4.1 Ubicación.....	78
4.1.1 Instituto de Geofísica.....	78
4.1.2 Unidad de Posgrados.....	79
4.2 Descripción del Sitio	80
4.3 Características Climáticas del Sitio.....	82
4.4 Metodología del Experimento.....	89
4.4.1 Desarrollo Experimento 1	90
4.4.2 Desarrollo Experimento 2.....	93
4.5 Mediciones.....	96
4.5.1 Desempeño térmico del prefabricado.....	96
Conclusiones.....	104
Glosario.....	108
Bibliografía.....	112
Índice de Imágenes.....	115
Índice de Tablas.....	117
Índice de Gráficas.....	118
Índice de Esquemas.....	118
Anexos.....	119
Anexo 1. Datos de Irradiancia Solar – Mes de abril.....	119
Anexo 2. Datos de Irradiancia Solar – Mes de junio.....	121
Anexo 3. Lecturas del Experimento Núm.1.....	123
Anexo 4. Datos de Medición Superficial en Placas.....	129

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo la población crece exponencialmente provocando una gran demanda habitacional y uso de recursos naturales. Desde el inicio de la humanidad el hombre ha buscado satisfacer sus necesidades básicas, primeramente se vio en la necesidad de proveerse de alimento, y posteriormente de refugiarse de las inclemencias del clima y de los animales. Hoy en día, satisfacer esas necesidades nos han llevado a un crecimiento acelerado en las ciudades por la demanda de espacio habitacional, comercial, de servicios, entre otros; y por lo tanto a una reducción considerable de recursos naturales disponibles en el planeta.

El crecimiento demográfico ha contribuido en gran manera al daño del medio ambiente, ya que abastecer tanto habitacionalmente como alimentariamente a la población, nos lleva a realizar procesos de extracción, transporte, transformación física y química de los recursos naturales, para después convertirlos en productos que luego de una vida útil se desechan, lo que genera una gran contaminación al planeta, ya que en su mayoría no son pensados para biodegradarse, reutilizarse o reusarse sino que con el aumento de la población, la demanda es mayor provocando que las grandes industrias se enfoquen solo en satisfacer esa necesidad sin preocuparse por el destino último de cada producto que elaboran.

Dentro del aspecto arquitectónico, un tema indispensable a satisfacer es cubrir las necesidades de confort térmico, que en ocasiones no se logra obtener y se debe acudir a la ayuda de los avances tecnológicos, los cuales han desarrollado sistemas de climatización artificial que se emplean en edificaciones donde el clima natural no es suficientemente confortable para el usuario. Sin embargo, hacer uso de estos sistemas provoca que se generen los gases de efecto invernadero, los cuales contribuyen al calentamiento global y degradación del medio ambiente; y es que, actualmente son utilizados excesivamente en las grandes ciudades debido al aumento de temperatura, la cual se origina a partir del efecto de isla de calor ocasionada por la emisión de gases de los autos, el pavimento de las calles, la poca vegetación que existe, entre otros factores.

Es por ello que hoy en día, se ve más frecuente la preocupación de la sociedad por la problemática ambiental; los constantes cambios de clima y el constante incremento de la contaminación provocada por el uso excesivo del automóvil genera que en las grandes ciudades existan elevados índices de enfermedades respiratorias, vasculares y cardíacas, trastornos digestivos, asma y bronquitis; pero también es evidente la falta de conciencia y respeto que actualmente presenta la población hacia el medio ambiente. Por contraste la cada vez mayor presencia de actividades como el reciclado, los transportes alternativos tales como la bicicleta y la recuperación de espacios verdes se constituyen como acciones iniciales para el mejoramiento del entorno.

La recuperación de espacios verdes es lo que ha llevado a la implementación de sistemas de naturación en la Arquitectura; los cuales consisten en un acondicionamiento de espacios en vertical y horizontal que permiten integrar vegetación y proporcionar el desarrollo de la misma, seleccionando las plantas que mejor adaptación tienen al espacio y a la región en que serán insertadas. Estos sistemas empleados en cubiertas, fachadas o en muros interiores, proveen al espacio de un ambiente agradable, limpio y confortable, logrando una mejora en el microclima de los lugares inmediatos a ellos.

En la presente investigación se estará enfocando mayormente al desarrollo de sistemas de naturación en vertical; siendo aquí cuando surge la cuestión de por qué no pensar en integrar el sistema desde un inicio de la edificación, previendo los problemas de habitabilidad y no utilizándolos como último recurso para arreglar los inconvenientes de tener una arquitectura con problemas térmicos al interior de los espacios ocasionados por diversos factores como, la orientación, los materiales, el diseño, la ubicación; por lo tanto, de acuerdo a lo anterior se considera que **si un material prefabricado con propiedades térmicas y elementos vegetales se utiliza en la construcción de fachadas, se podrán mejorar las condiciones climáticas interiores y exteriores del espacio, entonces se evitará el uso excesivo de los sistemas de climatización y se reducirán las emisiones de gases contaminantes.**

Objetivos

a) Generales

Demostrar que un elemento prefabricado para fachada vegetal puede ser empleado en la construcción de muros en diversas edificaciones; poseyendo propiedades aislantes debido a los materiales con que se fabrica y a la vegetación que contiene, provocando que se mejore la ganancia térmica al interior de los espacios, con ello se logra una disminución en el uso de sistemas de climatización artificial y como consecuencia se está reduciendo la emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

b) Particulares

Diseñar el elemento prefabricado con la forma y dimensiones óptimas de acuerdo a las propiedades de los materiales seleccionados para su elaboración; que logre contener el sustrato y el diseño sea compatible con el sistema de riego.

Identificar las especies vegetales de la región capaces de proporcionar un buen desempeño térmico en planos verticales.

Obtener mediciones térmicas del elemento prefabricado en presencia de vegetación y sin ella, adquiriendo datos de temperatura superficial exterior e interior del prefabricado.

Es en este documento donde se desarrolla un concepto nuevo, partiendo de la naturación en cubiertas hasta llegar a los sistemas de muros verdes; una forma de construir pensando en ayudar a subsanar a la naturaleza y que en nuestro país ha tomado gran importancia. En la arquitectura concebir desde un inicio la utilización de este sistema como parte integral del diseño conllevaría a una mejor conciliación y grandes ventajas en la operación del edificio, sin embargo hasta la fecha solo se ha considerado como una adecuación o adosamiento a lo existente y no como una integración inicial, por lo que sería un gran avance el considerarlo desde el concepto del proyecto

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

arquitectónico. Con este estudio se pretende desarrollar un producto que pueda ser utilizado desde el inicio del proyecto como una opción de material constructivo en fachadas y proporcionar a la ciudad de áreas verdes recuperando su imagen natural.

Para poder demostrar la hipótesis planteada se realizó un ejercicio que ayudó a obtener datos de primera fuente, con los cuales se obtuvo evidencia de que la aplicación puede ser factible en la construcción. Se desarrolló un experimento con dos placas de concreto reforzado con fibra de vidrio, obteniendo datos de temperaturas superficiales externas e internas; así mismo a través del Instituto de Geofísica de la UNAM, se obtuvieron datos de variables climatológicas y de radiación solar de la región de la Cd. de México, la cual presenta un clima templado subhúmedo; por otro lado, se tomaron mediciones de temperatura con diferentes especies vegetales para conocer el comportamiento térmico frente a un elemento prefabricado. Los resultados fueron positivos, demostrando que la integración de ciertas plantas en prefabricados para fachadas de edificios desde su construcción, contribuye a la mejora del medio ambiente y provoca un equilibrio de ganancias térmicas en el interior de los espacios.

CAPÍTULO I.- Uso de Vegetación en la Arquitectura

1.1 Antecedentes en la arquitectura vernácula

Las construcciones de la arquitectura vernácula, se han desarrollado intuitivamente ya que se diseñaban y edificaban de acuerdo a los diferentes climas de la región, utilizando los materiales que la misma naturaleza les proporcionaba a los habitantes; los métodos que empleaban se ajustaban a las necesidades de tal forma que proporcionaban estética, bienestar y comodidad, sin dejar atrás la funcionalidad que necesitaban, logrando la habitabilidad que hoy en día se reclama. Incluso sin poseer la tecnología actual para dar confort ambiental, la arquitectura vernácula daba respuesta a esas necesidades de refugio, protección y adaptación al medio ambiente¹.

Así mismo, las construcciones se integraban a la naturaleza que le rodeaba, formaban parte de ella, mimetizándose con su entorno, ese valor de arquitectura vernácula es el que en la actualidad se ha perdido con la evolución y descubrimiento de nuevos materiales; la tecnología que facilita la comodidad y proporciona confort es excesivamente utilizada, generando con ello consecuencias al medio ambiente y dejando atrás en ocasiones el valor ético del verdadero ejercicio arquitectónico.

En la actualidad las nuevas tecnologías (técnicas y materiales) empleadas en la construcción de edificios, han evolucionado en la arquitectura a partir de la Revolución Industrial, la producción en serie hizo que los diseñadores cambiaran su forma de concebir un proyecto, ya no era necesario usar los materiales tradicionales como la piedra y madera, sino que el hierro y el cristal se volvieron los elementos de construcción. Como en esa época, en el presente las nuevas técnicas han empezado a hacerse presente en los sistemas constructivos, se está intentando hacer adecuaciones para mejorar los aspectos estéticos y de habitabilidad en las edificaciones. Un ejemplo de ellos, es la incorporación de vegetación en planos horizontales y verticales del mismo edificio; ya no solo se piensa en tener una jardín en el patio de una casa, sino también a falta de este espacio, se opta por utilizar los muros y techos de la construcción.

¹ Carrera Acosta, A. (2011). *Sistemas Vegetales Verticales*. (Máster en Sistemas y Técnicas de Edificación). Universidad Politécnica de Madrid, España. pp. 5.
Recuperado de http://oa.upm.es/10204/2/TESIS_MASTER_ALVARO_CARRERA_ACOSTA.pdf

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Los primeros indicios del uso de la vegetación en la arquitectura se pueden encontrar en los Jardines Colgantes de Babilonia (ver imagen 1), los cuales se desarrollaron entre los años 605 y 562 a.C. con aproximadamente 1600m² de vegetación. Su construcción se le atribuye a Semíramis o a Ciro, se supone que los jardines habían sido plantados sobre terrazas, en varios niveles, lo cuales eran soportados por bóvedas y pilares².



Imagen 1: Pintura del siglo XVI de los Jardines Colgantes de Babilonia, por Martin Heemskerck.

Los árboles se asomaban y colgaban sobre los muros de la ciudad desde las terrazas escalonadas de los jardines (ver imagen 2 y 3), en el suelo rocoso de la terraza había excavaciones para recibir la tierra en donde se plantarían los árboles; en algunos bajorrelieves asirios se muestran en la parte alta de las viviendas una terraza a cielo abierto pero cubierta por una terraza superior que protegía la techumbre de la casa, además de que formaba una especie de espacio aireado con funciones térmicas. La terraza de abajo presentaba una profunda capa de tierra vegetal con plantas convirtiéndose en un jardín natural³.

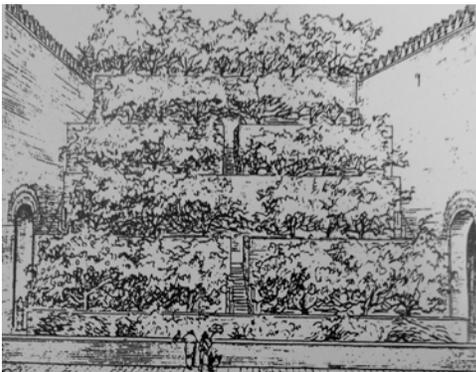


Imagen 2: Reconstrucción de los jardines colgantes de Babilonia de F. Krischen, 1956.

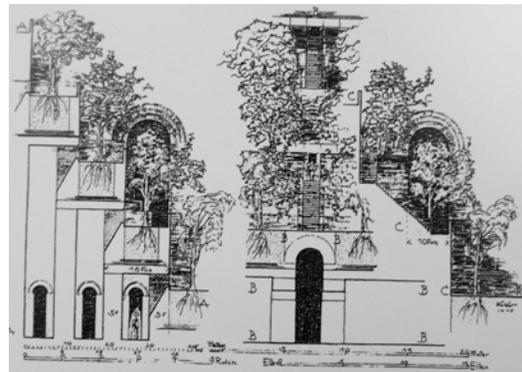


Imagen 3: Detalle de la reconstrucción de los jardines colgantes de Babilonia de F. Krischen, 1956.

² Segura, S. (2005). Los jardines en la antigüedad. Los jardines colgantes de Mesopotamia. Edición a cargo de Javier Torres Ripa. Universidad de Deusto, Bilbao, España. pp. 41.

³ Ídem.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Así mismo en el norte de Europa, el uso de la vegetación en las cubiertas fue de mayor necesidad, ya que al tener climas muy densos requerían de materiales como el césped o la turba para aislar las viviendas hechas a base de madera o piedra (ver imagen 4).



Imagen 4: Casas con turba en Glaumbaer, Islandia. Fuente: Christian Wirth, 2004.

La vegetación en la arquitectura vernácula ha ejercido un papel muy importante, debido a las cualidades que ésta le ofrece; por ejemplo, al combinar plantas con una capa de tierra ésta funciona como aislante, reteniendo el calor dentro en climas fríos y manteniéndolo fuera en climas cálidos; el hombre descubre cómo cubrirse de los efectos climatológicos; además de que ofrece seguridad y confort, le proporciona estética con los diferentes colores y olores de la vegetación, con ello genera una identidad única a la región, que en ésta época aún se conservan, tal es el caso de los países Nórdicos, que incorporan parte de su arquitectura vernácula en la arquitectura contemporánea, un ejemplo, la Estación Gullsfjord, ubicado en Noruega (ver imagen 5), proyecto desarrollado por Jarmund/Vignæs AS Arkitekter MNAL, en el cual su techo verde inclinado mitiga el impacto visual, así como lo hacen las columnas de concreto inclinadas imitando los ángulos de las montañas⁴.



Imagen 5: Estación Gullsfjord, Noruega. Fuente: Jarmund/Vignæs AS Arkitekter MNAL, <http://www.jva.no/>. Consultado Mayo 2013.

⁴ ALLPE M. A. (2012, Junio 13). *Una estación de camiones en el Círculo Polar Ártico (con techo verde)*. (Blog ALLPE Medio Ambiente). Recuperado de: <http://www.medioambiente.org/2012/06/una-estacion-de-camiones-en-el-circulo.html>. Consultada Mayo 2013.

1.2 Aplicación de Vegetación en las Envoltentes

A mediados del siglo XX, con el Movimiento Moderno y sus principios, trae consigo el uso generalizado de la cubierta plana, dejando de ser un remate horizontal para pasar a ser una “losa más”; fueron varios los factores que le atribuyeron la importancia a usar intensamente la cubierta plana: el desarrollo de la industria química que suministra láminas impermeables, el económico debido a la sustitución de la compleja estructura de las cubiertas inclinadas para dar paso a la simplificación del proceso constructivo de la cubierta plana, y el factor sociológico que influyó totalmente por la característica del uso colectivo de la cubierta por los ocupantes del edificio⁵. Esta última cuestión el Arquitecto de origen sueco Le Corbusier la plantea en los cinco puntos de su “nueva arquitectura”: uso de los pilotes, la cubierta-jardín, la planta libre, la ventana alargada y la fachada libre. Para él, la quinta fachada era un espacio que debía utilizarse como área de recreación: el lugar preferido de la vivienda; además de que servía como protección al hormigón armado de los cambios de temperatura; y en general, la cubierta jardín devolvía el espacio natural perdido a la ciudad. Su obra La Villa Savoye, representativa de su “nueva arquitectura”, ubicada en Poissy a las afueras de París, incluye un jardín sobre una losa sin pendiente (ver imagen 6 y 7).



Imagen 6: Villa Savoye, ubicada en Poissy, París. Obra del arquitecto Le Corbusier, 1929. Fuente: Flavio Bragaia.



Imagen 7: Jardín en la cubierta de La Villa Savoye, ubicada en Poissy, París. Obra del arquitecto Le Corbusier, 1929. Fuente: Flickr User: End User.

⁵ Neila González, F. J., Bedoya Frutos, C. y Britto Correa, C. (1999). *La cubierta ecológica en el contexto de la arquitectura bioclimática*. Briz, Julián. Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Editorial Mundi-Prensa Libros, España. pp. 258.

La utilización de vegetación en cubiertas es muy amplia desde sus orígenes hasta la actualidad, a través de los años con los avances tecnológicos, se han implementado nuevas técnicas constructivas, existe una mayor creatividad y un mejor manejo de nuevos materiales que dan por resultado un nuevo concepto de naturación. Siendo Alemania en 1971 el precursor en utilizar las cubiertas ecológicas, gracias a la iniciativa de un grupo de Empresas, Instituciones y Universidades, se han llegado a naturar barrios enteros como Prenzlauer Berg. En 1994 se construyeron 9 millones de m² de cubiertas verdes que constituían el 11% de la superficie total de cubiertas en Alemania, en 1995 aumento a 10 millones de m² y al año siguiente a 11 millones, previendo un aumento para 1999 de 14 millones⁶. Hoy en día ha sido un sistema ampliamente utilizado que anualmente se llega a naturar aproximadamente 4 millones de m² de edificios, dentro y fuera de las ciudades⁷.

En países como Francia, las cubiertas verdes también son de considerable importancia por lo que llevan instalados más de 5 millones de m², ocurriendo esta tendencia en Islandia, Escandinavia, Bélgica, Austria, Suiza y Estados Unidos. De igual forma, en México se ha visto la cada vez mayor implementación de cubiertas naturadas, incluso el Gobierno del Distrito Federal tiene descuentos de hasta el 10 % en el pago del predial a inmuebles que tengan cubiertas verdes.

Es gracias a los avances en la construcción que se puede hablar ahora de cubiertas ecológicas o naturadas, así como al desarrollo en técnicas y herramientas para el estudio y análisis de la investigación científica de este sistema. Con estos progresos tecnológicos se ha facilitado y acelerado la creación y ejecución de los proyectos arquitectónicos, así mismo los sistemas de impermeabilización y aislamiento se han hecho más eficientes por el tipo de materiales que son durables y ligeros; se ha mejorado la calidad de estructuras y otros elementos de construcción, de igual forma con ayuda de la electrónica y la informática se han podido medir parámetros que arrojan datos acerca del funcionamiento del sistema en materia de aislamiento térmico, energético, comportamiento vegetal, los efectos medio ambientales, entre otros.

⁶ Briz, J. (1999). *Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental*. Editorial Mundi-Prensa Libros, Madrid, España. pp. 106.

⁷ García Villalobos, I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México. pp. 8.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Y es con lo anterior que se han obtenido resultados positivos en la utilización de cubiertas verdes, de acuerdo a D. Julián Briz, Presidente de PRONATUR, Madrid, 1999, en el libro *Naturación Urbana*, algunas de las ventajas en los aspectos arquitectónicos-constructivos, estéticos y medio ambientales que ofrece la naturación en cubiertas son⁸:

- Actuación positiva en el clima de la ciudad y de la región proporcionada por la retención de polvos y sustancias contaminantes.
- Aumento del espacio útil.
- La influencia que ejerce sobre el ambiente interior.
- Enfriamiento de los espacios bajo cubierta, en el verano, provocado por la evaporación.
- Disminución de las pérdidas de calor, en invierno, lo que presupone ahorro de energía.
- Aumento de aislamiento térmico.
- La absorción del ruido.
- Prolongación del tiempo de vida de la cubierta.
- Mejora del grado de humedad.
- Reduce la carga de agua que soportan las canalizaciones urbanas.
- Reduce el efecto de la isla de calor.

Otros beneficios que conlleva la implementación de éste sistema es mejorar el medio ambiente y el paisaje urbano, la integración de los habitantes con la naturaleza y por lo mismo, mejorar su calidad de vida. Existen en el mercado diferentes tipos de sistemas de cubiertas ecológicas, con características específicas en cada una, esto, respondiendo a los requerimientos de cada situación y aplicación. El sustrato va a depender de las necesidades de nutrientes, retención de agua, el drenaje y la protección que las plantas vayan a requerir, y por lo mismo la vegetación varía dependiendo de la región, ésta tiene que ser autóctona para presentar un mejor desenvolvimiento en las situaciones de adaptabilidad y condiciones climáticas extremas.

Al igual que las cubiertas naturadas, los sistemas de muros verdes surge con la necesidad de tener una eficiencia térmica al interior de los espacios proporcionando bienestar social al ser humano

⁸ Briz, J. (1999). *Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental*. Editorial Mundi-Prensa Libros, Madrid, España. pp. 259.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

y al medio ambiente, tan es así que desde 1938, en Washington, D.C. se patentó por primera vez la utilización de muro verde.

Fue Stanley Hart White quien inventó este sistema al que llamó Vegetation-Bearing Structure and System (ver imagen 8, 9 y 10). El cual consistía en proveer un método para hacer una estructura arquitectónica de cualquier tamaño, forma o altura edificable, donde sus superficies expuestas pudieran presentar un recubrimiento permanente de creciente vegetación. Así mismo proveer de una especie de cojín para que la unidad pudiera ser irrigable, portátil e intercambiable, además de suministrar suficiente flexibilidad para que tuviera la capacidad de ser doblado, curvado o deformado en varias formas⁹.

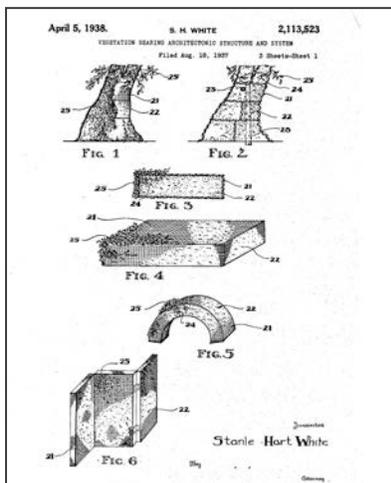


Imagen 8: Vista en fachada, sección y perspectiva del componente flexible formado por unidades rígidas. Fuente: Patente número 2,113,523 Vegetation Bearing Architectonic Structure and System.

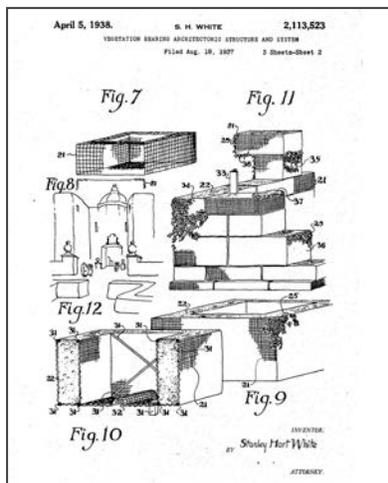


Imagen 9: Sección y composición de la unidad portátil. Fuente: Patente número 2,113,523 Vegetation Bearing Architectonic Structure and System.

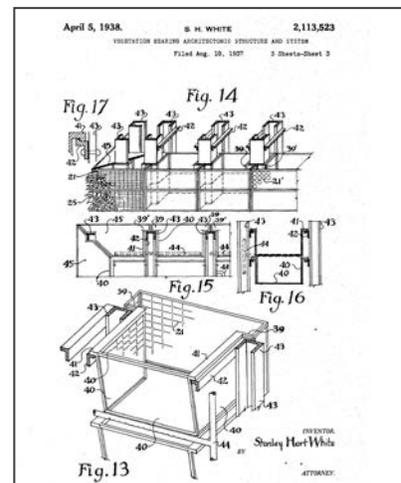


Imagen 10: Sección vertical de la estructura de soporte. Fuente: Patente número 2,113,523 Vegetation Bearing Architectonic Structure and System.

Sin embargo no existen indicios que el método se haya llevado a cabo y funcionado exactamente como Hart lo describía. No es hasta 1986, casi 50 años más tarde que se construye el primer muro verde, en la Ciudad de las Ciencias y la Industria en París (ver imagen 11 y 12). Es

⁹ Hart, S. (1938). *Vegetation Bearing Architectonic Structure and System*, Patente número 2,113,523.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Patrick Blanc, un botánico francés que trabaja para el Centre National de la Recherche Scientifique a quien se le considera uno de los precursores de las llamadas “fachadas vegetales”, en 1988 obtiene la patente de su muro verde en París. Blanc ha desarrollado un estilo propio que denomina “muro vegetal”, con el que logra que una densa capa de vegetación crezca en cualquier superficie, incluso en el aire.



Imagen 11: Muro verde de Patrick Blanc en 1986.
Fuente:
www.verticalgardenpatrickblanc.com



Imagen 12: Primer muro verde de Patrick Blanc en 1986, Ciudad de las Ciencias y la Industria en París, Francia. Fuente:
www.verticalgardenpatrickblanc.com

Sus diseños incluyen formas y colores muy llamativos y únicos, gracias a su uso de miles de plantas y una gran diversidad de especies vegetales. Por ello se ha convertido en uno de los referentes de estos sistemas¹⁰.

En estos días en que la preocupación por el medio ambiente está cada vez más presente debido a los cambios bruscos del clima, el aumento de temperatura y los altos niveles de contaminación que perjudica a todo el ecosistema es que están surgiendo asociaciones, grupos, despachos, individuos que se preocupan por el medio en el que vivimos, es por ello que el concepto de área verde en vertical está más latente, ya es un tema recurrente en las construcciones y pareciera que en un tiempo más se podría convertir en un quehacer necesario en la arquitectura.

¹⁰ Calidad Medioambiental. *Los edificios se visten de verde*. Revista NC Nueva Construcción, N.25, Febrero 2011, p. 18.

1.2.1 A nivel internacional

Existen diversos talleres, estudios y despachos interesados en la construcción de cubiertas y muros verdes, persiguiendo un objetivo común: dotar a la ciudad de espacios verdes, que purifique el medio ambiente y conviertan los espacios en lugares más agradables, frescos y atractivos. En Europa y Norteamérica existen diversos grupos de investigadores en este ámbito de la integración vegetal a la arquitectura; Universidades, Centros, Institutos y Organizaciones están realizando investigaciones en estrategias para el ahorro de energía, la adecuada utilización del agua en estos aspectos, utilización de la bioclimática en las edificaciones, la transferencia de calor, entre otros. Por lo tanto, han estado implementando el sistema de cubiertas y muros verdes, en cada uno se observa la solución según lo demande el edificio y las facilidades que tenga el proveedor para realizar la adecuación vegetal.

España

En el ámbito institucional se encuentra el Centro Tecnológico de Transferencia de Calor, UPC Barcelona, en donde se llevó a cabo el experimento llamado Proyecto Greenfaçade, teniendo por objetivo evaluar el efecto que puede producir la sombra de distintas especies trepadoras en las fachadas de las edificaciones, pretendiendo encontrar soluciones a los problemas arquitectónicos asociados con la integración de vegetación, el mantenimiento, iluminación, diseño exterior, identificación de las especies adecuadas, entre otros aspectos (ver imagen 13 y 14). De igual forma se desarrolló a la par un modelo numérico que permitiera conocer la cantidad de ahorro de energía para diferentes tipos de edificios, orientaciones y densidad de vegetación¹¹.

Por otra parte la Universidad Politécnica de Madrid, el Grupo multidisciplinar ABIO (Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible) formado por doctores, arquitectos, urbanistas, ingenieros y paisajistas, desarrollan nuevos doctores e investigadores profesionales, capacitados para innovar en aspectos formales, energéticos y medioambientales de integración arquitectónica.

¹¹ Soria, M., Acosta, M., Oliva, A. (et al.) (2004). *Use of vegetation to reduce overheating in singular and conventional buildings - GREENFACADE Project*. Centro de Transferencia de Calor. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Tienen tres líneas de investigación: arquitectura bioclimática, construcción sostenibles y urbanismo bioclimático. Entre sus objetivos está la integración de elementos vegetales en la edificación y se encuentran investigando el comportamiento termo físico del elemento vegetal a través de ensayos de laboratorio, simulación y análisis computacional energético y monitorizado de cerramientos vegetales instalados en edificios experimentales a escala real.

Por otra parte el grupo ABIO también trabaja en el desarrollo de nuevos materiales, en su aplicación, y que aporten mejoras y beneficios medioambientales¹². Así mismo, una empresa de base tecnológica llamada Terapia Urbana y que está conformada por ingenieros agrónomos y arquitectos surgidos de la Universidad de Sevilla, le dan gran importancia a la naturación como vía para la Arquitectura Sustentable, mejorando la calidad ambiental y la eficiencia energética de la edificación. Es por ello que desarrollan sistemas de jardines verticales y techos verdes bajo patente, que incorporan la naturaleza en las edificaciones y en la ciudad¹³.

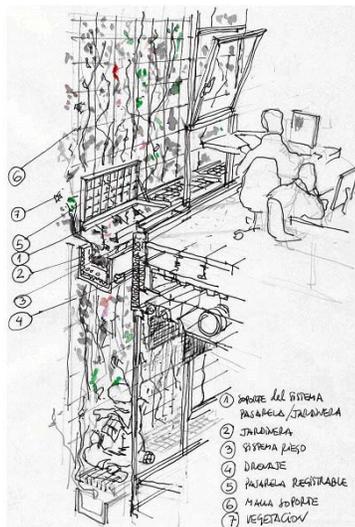


Imagen 13: Bosquejo de cómo los elementos se desarrollarán en el sistema, Proyecto Green-Facade. Fuente: Biosca y Botey.

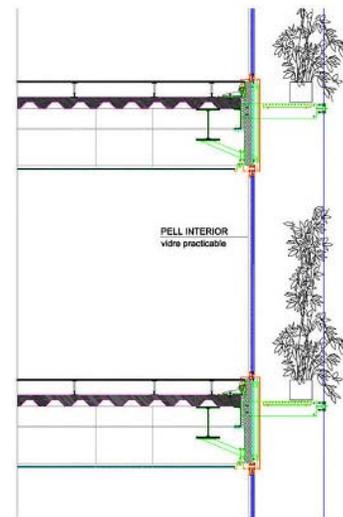


Imagen 14: Diseño de elementos de soporte para permitir una buena accesibilidad, Proyecto Green-Facade. Fuente: Biosca y Botey.

¹² ABIO, Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible (2010). Grupo de investigación reconocido por la Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido en Diciembre 06, 2012 en <http://www.abio-upm.org/index.php>

¹³ Terapia Urbana (2006). Empresa de Base Tecnológica surgida de la Universidad de Sevilla. Obtenido en Diciembre 06, 2012 en <http://www.terapiaurbana.es>

Alemania

Existe en el Distrito de Saarbrücken una organización de compañías involucradas con la industria de techos verdes llamada Asociación Profesional de Techos Verdes (Professional Green Roof Association), la FBB por su nombre en alemán, fundada en 1990 surgiendo de la visión de entender la relación entre naturaleza y construcción, no como una oposición sino como una oportunidad de correlación. Sus principales objetivos son:

- Promover techos verdes, (la vegetación en techos y fachadas) y familiarizar a la población con la utilización de estos métodos.
- Proveer de información acerca de techos verdes a todo el público interesado.
- Proporcionar a los miembros del FBB ayuda en las prácticas laborales y apoyo promocional.

Los miembros del FBB son constructores y proveedores de techos y fachadas, incluyendo además a la industria del mantenimiento, se constituye de planificadores, fabricantes, universidades, instituciones, estudiantes y la iniciativa privada, actualmente cuenta con 96 miembros. Una de las ventajas de incorporarse a la asociación es que mientras se promociona la integración de tejados ecológicos también se ayuda a garantizar un futuro más verde para la sociedad y el planeta; además se abre la oportunidad de interconexión con fabricantes, arquitectos, constructores y autoridades; se fomenta la importancia de la naturaleza en la educación y formación de las futuras generaciones, se realizan conferencias, colaboran en los cambios de regulación y legislación de normas¹⁴.

Desde el 2008, se ofrecen simposios anuales FBB Facade Greening Symposium, en ellos se tocan temas de interés actual acerca de la industria ecológica de fachadas y de los sectores afines, se presentan temas interesantes de expertos, de tal manera que se contribuye a la actualización de empresas en la construcción y planificación; de la misma forma a las diferentes ciudades participantes se les actualiza con las últimas investigaciones en docencia y tecnología. Con estas actividades y que exista una asociación como esta, es un importante parte aguas para inducir en la población la importancia de incorporar a la naturaleza en la construcción, que como bien se decía

¹⁴ Professional Green Roof Association (1990). Asociación de compañías involucradas en la industria de techos verdes. Obtenido en Diciembre 05, 2012 en <http://www.fbb.de/>

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

no deben ser opuestas sino caminar integradas una de la otra. Siendo Alemania el principal impulsor de esta implementación desde los años 60s, y es en Stuttgart en 1980, en ser la primera ciudad en otorgar beneficios fiscales para la utilización de estos sistemas de techos y fachadas verdes¹⁵.

Francia

Así mismo en este país, que el concepto de fachada verde surge gracias al botánico Patrick Blanc, patentando sus sistema en los años 80s, causa un auge en la creación de los muros vivos (ver imagen 15 y 16), poco a poco se ha implementado este sistema de construcción, pero es hasta en el 2003 que se crea la Asociación Francesa de Techos y Fachadas Vegetales ADIVET (L'association des Toitures Végétales) en Montrouge, Francia, la cual se estableció para formar una conciencia en la importancia del desarrollo de las técnicas de techos y fachadas verdes para mejorar el medio ambiente (ver imagen 17); sus miembros buscan contribuir con el desarrollo técnico, económico y social apoyando la sustentabilidad mediante la promoción de intercambios y colaboración con los responsables políticos, ingenieros, contratistas, arquitectos y fabricantes¹⁶.



Imagen 15: Rue d'Alsace, París, por Patrick Blanc, 2008. Fuente: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>



Imagen 16: Fachada de la Rue d'Alsace, París, por Patrick Blanc, 2008. Fuente: <http://www.verticalgardenpatrickblanc.com>



Imagen 17: Logo de la Asociación Francesa de Techos y Fachadas Vegetales. Fuente: <http://www.adivet.net/>

¹⁵ Vulling, M. *Las azoteas verdes*. Espacio verde. Poder Edomex: toda la información del estado de México. Columna del 27 octubre, 2008. <http://poderedomex.com/notas>. Consultado en junio 2013.

¹⁶ ADIVET (2003). Asociación de techos y fachadas verdes. Obtenido en Diciembre 05, 2012 en <http://www.adivet.net/>

Estados Unidos y Canadá

Fue una gran aportación de los países de Europa, que en el norte de América también se empezó a utilizar el concepto de techo verde, es en el 2001 dónde uno de los primeros edificios en utilizar este sistema fue el Chicago City Hall (ver imagen 18), un edificio histórico que alberga al gobierno de la ciudad de Illinois, el objetivo principal de esta instalación era abrir a la población una vía de acercamiento directo a los beneficios que trae consigo el techo verde. En el año 2004 en Toronto, Canadá se crea la asociación Techos Verdes para Ciudades Saludables en Norte América (Green Roofs for Healthy Cities North America-GRHC), cuya misión es aumentar la conciencia de beneficios económicos, sociales y ambientales de los techos y muros verdes, así mismo, mostrar otras formas de vivir la arquitectura a través de la educación, la promoción, el desarrollo profesional y las celebraciones de excelencia¹⁷ (ver imagen 19). Incluso cuando en el mercado no exista la valoración de los beneficios tangibles públicos y privados de los techos y muros verdes, en la asociación se están esforzando por facilitar esos cambios que traerán consigo tecnologías a la vanguardia en la restauración de alto rendimiento de diseño de edificios verdes, la implementación y el mantenimiento.



Imagen 18: Techo verde en el Chicago City Hall.
Fuente: Lorena Galliot.



Imagen 19: Logo de la Asociación Techos Verdes para Ciudades Saludables. Fuente: <http://www.greenroofs.org/>

¹⁷ Green Roofs for Healthy Cities, (2004). Nuestra misión. Asociación sin fines de lucro que promueve la industria de techos verdes para ciudades saludables. Obtenido en Noviembre 26, 2012 en <http://www.greenroofs.org/>

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Casos como este deben ser tomados en cuenta para emplearlos en las grandes ciudades del mundo y empezar a generar conciencia de la importancia de la vegetación en la vida de los seres humanos; actuar en favor de él y no en contra, ayudará a que la sociedad tenga una relación estrecha con la naturaleza logrando conocer el valor del medio ambiente y permitir utilizar estos recursos con sustentabilidad. Además de que tener un espacio verde que sea propio dentro de una gran ciudad que carece de espacio para ello, mejora la calidad de vida del ser humano y sus relaciones tanto personales como laborales, elimina el estrés que provocan las grandes urbes y ayuda en el bienestar físico y mental.

1.2.2 A nivel nacional

En la ciudad de México, el proceso de naturación en cubiertas está teniendo una gran importancia en la arquitectura, se sabe el valor que la naturaleza posee en la vida urbana y como puede contribuir de gran manera subsanando el medio ambiente ciudadano. En la Ciudad de México tenemos varios ejemplos: la azotea del edificio del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda de los Trabajadores que desde junio de 2011 ha adquirido la Certificación de Edificio Sustentable y Grado de Excelencia (ver imagen 20), por otro lado se encuentra la azotea de la estación del metro insurgentes con dos mil metros cuadrados de área verde inaugurado en 2007 instalándose un poco más de 93 mil plantas (ver imagen 21). En las grandes ciudades la sociedad concientiza que los recursos se están agotando y que la naturaleza es de vital importancia para la existencia del hombre.



Imagen 20: Azotea del Instituto del Fondo Nacional de Vivienda de los Trabajadores. Fuente: Oscar Ramírez



Imagen 21: Azotea verde en la estación del metro Insurgentes. Fuente: Lidia Arista. Periódico el Universal DF. Las azoteas verdes del DF, conócelas. 8 junio 2011.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

En el 2005 se crea la Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas A.C., con el objetivo de investigar, informar y capacitar acerca de los beneficios ambientales, sociales y económicos que genera la Naturación de azoteas. Cuenta con la participación de diseñadores y constructores profesionales, arquitectos, desarrolladores, consultores ambientales, personal gubernamental, estudiantes y propietarios de edificaciones interesados en el diseño sustentable y en la arquitectura ecológica.

En México existen aproximadamente 30 mil metros cuadrados de azoteas verdes, en los últimos cinco años el entusiasmo ha estado en aumento en todas direcciones; la investigación sobre los beneficios de los techos verdes se ha puesto en marcha desde hace algunos años en la UNAM a través del Jardín Botánico (ver imagen 22 y 23) liderado por el Biólogo Jerónimo Reyes, así como en otros diversos institutos. En el 2010 se realizó el primer congreso de azoteas verdes en el país para dar a conocer estos beneficios de naturación y de igual forma buscar alternativas y nuevas tecnologías de implementación.



Imagen 22: Vista de la azotea naturada en el Jardín Botánico de la UNAM.



Imagen 23: Azotea verde en el edificio de colecciones, ubicado en el Jardín Botánico, UNAM.

La integración de muros verdes en los edificios está siendo un gran aporte en la creación de áreas verdes, y con ello están surgiendo grupos de la iniciativa privada, así como asociaciones e institutos que buscan nuevas alternativas para reducir el costo por metro cuadrado de muro verde, además de que éste sea fácil de instalar y no tan costoso de mantener.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Los estudios Verde Vertical (ver imagen 24 y 25), Verde 360, la empresa G&G, entre otros, han visto la necesidad de introducir este sistema en la Ciudad de México por la alta contaminación que ésta tiene y los diferentes microclimas que se generan a causa de ello, así como disminuir en una parte el uso de energía eléctrica empleado en los sistemas de climatización.



Imagen 24: Muro verde ubicado en el corredor Regina de la Ciudad de México.



Imagen 25: Muro verde ubicado en Av. Javier Barros Sierra, Lomas de Santa Fe, Ciudad de México. Fuente: Verde Vertical.

Con los proyectos que se están realizando, aumenta más el interés de las empresas por tener un muro o techo verde en sus edificios, reduciendo gastos de consumo eléctrico, ayudando éticamente al medio ambiente, además de proporcionar espacios agradables para los usuarios y promover la importancia del cuidado de la vegetación. Los muros verdes en la actualidad se podría decir que son un lujo el tenerlos y darles mantenimiento adecuado, pero en un futuro próximo tendrá que ser una necesidad y deberán de crearse normas en los reglamentos de edificación que integren muros verdes y techos naturados en las construcciones. Tal es el caso de Tokio, Japón, donde el gobierno en el año 2001 creó un programa para disminuir los efectos de “isla de calor”, incluyendo como requisito que todas las edificaciones nuevas que sobrepasaran los 1000 m² debían naturar el 20% de sus azoteas.

1.3 Beneficios Térmicos

En las últimas décadas ha sido posible incrementar los espacios de áreas verdes en las ciudades, utilizando éstos espacios que están parcial o totalmente desocupados en las edificaciones, es decir la quinta fachada: la cubierta. La utilización de la cubierta para crear espacios verdes contribuye a la regulación térmica al interior de las edificaciones¹⁸ por una parte; por otra, la vegetación misma posee propiedades ópticas como la absorción, emisión, transmisión infrarroja y reflectancia visible¹⁹, las cuales influyen al momento de capturar la radiación solar directa y actúan para disminuir la temperatura en el ambiente.

Con la investigación realizada por Jazmín Carbajal Ávila en 2009 con el tema de tesis "*Diseño térmico de azotea verde en clima cálido subhúmedo*" dentro del posgrado de Arquitectura en la UNAM, se llegó a la conclusión de que las hojas al tener mayor tejido producen más dispersión térmica, por lo tanto las plantas suculentas son las más adecuadas de utilizar en el sistema de naturación. Así mismo la presencia de cloroplastos incrementa la absorción térmica, siendo la razón por la cual las hojas suelen tener mayor reflectancia en el envés que en haz. Además, la vellosidad en algunas especies incrementa la reflectancia en el visible y el infrarrojo.

Los resultados de la investigación demostraron que las plantas pueden reducir la energía térmica de radiación solar de 70% a 90% cuando la cobertura promedio es mayor del 40% y el grosor de la hoja es mayor de 2.25mm. 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%²⁰. Con lo anterior, se puede dar cuenta que la vegetación es un elemento que favorece las condiciones térmicas en los espacios interiores, y coadyuva en los microclimas que se generan en la ciudad.

¹⁸ García Villalobos, I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México. pp. 1.

¹⁹ Carbajal Ávila, J. (2009). *Diseño térmico de azotea verde en clima cálido subhúmedo*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México. pp. 84.

²⁰ Ídem, pág. 91.

Así como la vegetación en cubiertas ayuda al mejoramiento térmico de los espacios, el objetivo de utilizar muros verdes, es de igual forma disminuir las ganancias de energía térmica en las edificaciones evitando el uso excesivo de aire acondicionado: un sistema emisor de gases contaminantes, que aun cuando operen con sistemas cerrados que en teoría no emiten sus refrigerante a la atmosfera, realmente el porcentaje de reciclaje es mínimo, ya que debido a fugas durante el tiempo de operación, en el mantenimiento o los sistemas desechados, los refrigerantes a final de cuentas son emitidos a la atmosfera²¹.

Es entonces, que la utilización de muros verdes ha adquirido gran importancia en la arquitectura, por lo que diversas investigaciones han surgido para observar el comportamiento de las plantas sobre los muros y las ventajas que éstos adquieren térmicamente. Un proyecto de investigación en Berlín siendo el primero de su clase, comienza en 1984 liderado por Manfred Köhler con el nombre "Paul-Lincke-Ufer Research Project", el cual se centró en los efectos de la vegetación en los patios, fachadas y techos verdes para mejorar las condiciones de vida en el interior del barrio de Kreuzberg ubicado en la zona centro de la ciudad. En el proyecto se plantaron hiedra de Boston y otras especies trepadoras, éstas fueron colocadas en macetas colgantes sobre la fachada y al nivel del jardín existente, esta investigación se empezó para la restauración de un edificio de 100 años de antigüedad.

Los muros verdes funcionan como aislante, reduciendo la utilización de sistemas de climatización por lo que se consume menos energía eléctrica, y es gracias a investigaciones que se han hecho que éstas contribuyen a fundamentar la implementación del sistema. Tal es el caso de la investigación realizada por el Dr. Akira Hoyano del Instituto de Tecnología de Tokio en 1998, quien demostró que la transmisión de energía calorífica a través de un muro de hormigón, es significativamente inferior si éste se encuentra cubierto exteriormente por una capa de vegetación (ver imagen 26), y puede reducir la temperatura hasta 10°C, así como una reducción en la transferencia de energía en un edificio de ~0.24kWh/m² (ver imagen 27).

²¹ Schumann, A. (2011). *Mejoramiento del Desempeño Térmico en Casas en Zonas Cálido Húmedas y Cálido Subhúmedas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México. pp. 27.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Imagen 26: Colocación de los instrumentos de medición, en las diferentes variables de muros con y sin vegetación. Hoyano, A. 1998, Tokio. Fuente: <http://www.sinergia3.com>

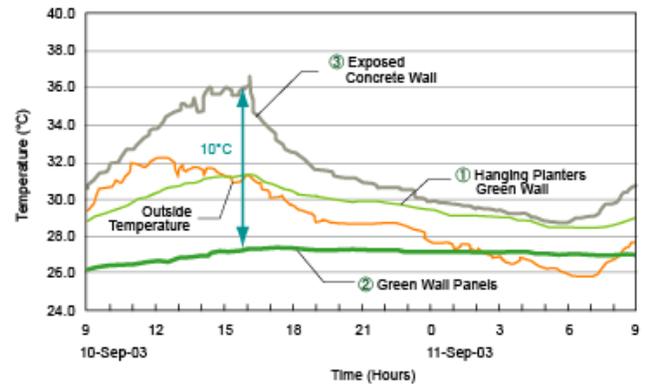


Imagen 27: Demuestra la diferencia de temperaturas de una fachada que está cubierta con vegetación (hiedra) y otra sin cubrir. Hoyano, A. 1998, Tokio. Fuente: <http://www.sinergia3.com>

Por otra parte, en el 2011, los investigadores el Dr. Hasim Altan y Juri Yoshimi, estudiante de doctorado de la Escuela de Arquitectura en la Universidad de Sheffield, Inglaterra, publicaron un artículo en el que sostienen que “la vegetación en los exteriores de edificios estabiliza las temperaturas internas, mitigando el calor de los rayos solares e inoculando la pared en la noche en climas calientes y fríos”, este resultado fue gracias a la investigación realizada en el tema Simulaciones Termal de los Efectos en Paredes Vegetales de Ambientes Cerrados en Edificios²².

En la naturación de azoteas, se han hecho experimentos con diferentes tipos de plantas dependiendo del color de sus hojas, uno de ellos es la investigación hecha por Ilse García Villalobos en 2011, con el tema de tesis “La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas” dentro del programa de posgrado en Arquitectura de la UNAM, en donde los resultados determinaron que las plantas que se desempeña mejor térmicamente al estar expuesta a la radiación solar, son las plantas de hojas color moradas, la *Secretasea purpurea* llamada comúnmente Niña de Barco, ya que la diferencia existente de fluctuación total diaria entre ellas y las otras dos especies monitoreadas al interior de los espacios fue de 0.2 °C con la *Sencio cineraria* de color gris y de 0.4°C con la *Sedum rubrotinctum* de color rojo en el mes de enero y para el mes de junio una diferencia de 0.4°C con la especie de color gris y de 0.7°C con al de color rojo; así mismo en los

²² Yoshimi, J., Altan, H. (2011). *Thermal simulations on the effects of vegetated walls on indoor building environments*. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sidney, 14-16 November.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

resultados de la conductividad térmica medida en laboratorio de las especies vegetales, afirman que la especie *secretasea purpurea*, es la que cuenta con mayor porcentaje de reducción térmica²³.

En muros verdes aún no existe un estudio en México que valide la utilización de ciertas plantas de acuerdo a su color, forma y propiedades. En países como España con el Proyecto Green Facade en la Universidad Politécnica de Cataluña e Inglaterra con el Proyecto Bioshader²⁴ en la Universidad de Brighton, se están llevando a cabo investigaciones para determinar

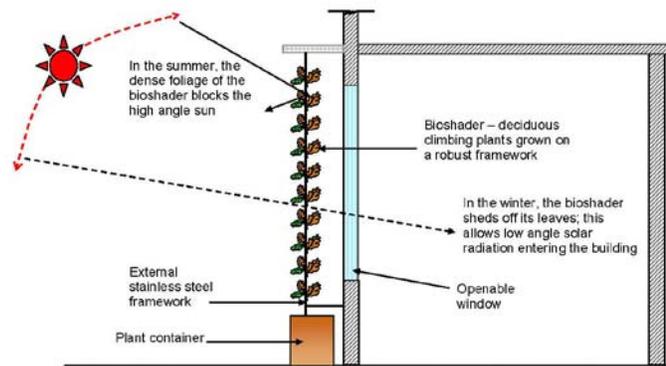


Imagen 28: Sección vertical del sistema bioshader. Fuente: Ip et al., 2004. Vegetation on building facades: "Bioshader". Case Study Report

qué tipo de plantas son las más adecuadas para este tipo de vegetación en vertical, de acuerdo a las capas de hojas que poseen, la capacidad de crecimiento de las plantas trepadoras, así como la renovación de hojas con la caída de ellas en invierno, permitiendo pasar a los rayos solares al interior de las edificaciones (ver imagen 28).

Con estas dudas aún existentes en el ámbito profesional, es que surgen nuevos grupos con nuevas tecnologías que se dan a la tarea de mejorar los sistemas ya empleados, la búsqueda continua a la solución de problemas; siendo este estudio uno de ellos, busca hacer una aportación para que el sistema de muro verde sea un quehacer diario del arquitecto, planeador, diseñador o constructor. Generar conciencia en la sociedad profesional la importancia de las áreas verdes, en donde la construcción no debe ser un objeto invasor en la naturaleza, sino debe llegar a integrarse con ella, porque esa es la única vía de sobrevivencia.

²³ García Villalobos, I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.

²⁴ "Bioshader" es un término usado para describir el sistema de sombreado vegetal para proteger las edificaciones. Esta opción de diseño de sombreado sustentable comprende una capa vertical de planta trepadora de hoja caduca que escala sobre un marco de metal, la cual es montada en el exterior de la fachada de cristal de una forma natural para la ventilación del edificio. Miller, A., Shaw, K., & Lam, M. (2007). *Vegetation on building facades: "Bioshader". Case Study Report*. University of Brighton. England.

1.4 Beneficios Psicológicos y Medio-ambientales

1.4.1 En la Ciudad

El crecimiento de las ciudades ha originado la reducción considerable de la naturaleza, del medio que nos rodea. Frecuentemente se ve la tala de bosques, invasión a los ecosistemas, quema de pastizales; todo ello para seguir construyendo carreteras, fraccionamientos, centros comerciales, etc., y así satisfacer las necesidades arquitectónicas del hombre. Quizás es indispensable hacer lo anterior, de cualquier manera se afecta a la naturaleza, pero, por lo mismo es necesario que se haga con conciencia y con estudios previamente realizados, conociendo con esto el impacto que se ocasionará en la región seleccionada para el desarrollo urbano.

La urbanización es un fenómeno totalmente complejo que tiene repercusiones en el fenómeno económico, social, político y sanitario. Constituye el centro de actividad económica de negocios y con ello se deriva la dinámica social, cultural y deportiva. Sin embargo esto no se puede dar si no existe la preponderancia política del gobierno, quien es el que toma todas las decisiones para que el desarrollo urbano se dé. Cuando existe gran demanda por parte de los urbanistas en solucionar los problemas generados por la ciudadanía en necesidades de espacios de recreación y equipamiento, los partidos políticos se vuelcan a los problemas de la ciudad, olvidándose de las áreas rurales, provocando que el crecimiento no se dé conforme a una planeación, haciendo más difícil el control del espacio.

El acelerado desarrollo urbano provoca una serie de problemas, no solo sociales y económicos, sino también ambientales, siendo más visibles en las ciudades de países en desarrollo, ya que éstas carecen de la infraestructura adecuada y no dan abasto a la desordenada expansión urbana, por lo que la contaminación en los suelos y mantos acuíferos se vuelven un problema para los ecosistemas.

La planeación en la ciudad genera un crecimiento ordenado y con opciones a formar cinturones verdes en las periferias de ella, conectando un punto de la ciudad con otro, interviniendo

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

los espacios de forma diseñada, el cual es un factor muy importante para los ciudadanos, es el valor medioambiental que le da a la ciudad, así como la imagen urbana y la identidad que los caracteriza; sin embargo, aun cuando la ciudad este muy bien planeada, las grandes urbes siempre presentan mayores cantidades de contaminantes suspendidos en el ambiente, y cuando no existen los filtros como la vegetación que purifiquen el aire, todas esas partículas se van directamente a los sistemas respiratorios de cada habitante, generando consigo enfermedades de índole respiratorias.

Es gracias a estos contaminantes generados por las grandes ciudades que tenemos los cambios climáticos, la generación de huracanes, tormentas (ver imagen 29). Una de las consecuencias que el crecimiento de áreas urbanas ha traído (ver imagen 30), es el incremento de la temperatura, conociéndose como isla de calor urbana, y con ello la recurrente utilización de sistemas de climatización en el interior de los espacios para lograr un confort adecuado, agregándole a esto la generación de gases de efecto invernadero que incrementan aún más la temperatura.



Imagen 29: Tormenta Sandy, inundación a causa de los cambios climáticos, NY, EU. Fuente: <http://noticiasmontreal.com>



Imagen 30: Crecimiento de la Cd. de México, vista nocturna. Fuente: Oscar Ruiz.

Por ello, tener áreas verdes que actúen como purificadores del ambiente es un requisito indispensable en la planeación de la ciudad, además captan CO₂ y liberan oxígeno, el cual es vital para el ser humano. Incluso reducen los gases de efecto invernadero provocado por las industrias, los refrigerantes en los aparatos de climatización, la quema de combustibles fósiles, entre otros; los cuales llegan a la atmósfera generando un aumento de temperatura y con ello en parte, el calentamiento global. Por lo anterior es que surgen las ciudades verdes, una medida que el gobierno

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

de cada ciudad en el mundo adopta para realizar acciones que están encaminadas a mejorar el medio ambiente.

En la Ciudad de México existe el Plan Verde, compuesto por siete estrategias importantes: suelo de conservación, habitabilidad y espacio público, agua, movilidad, aire, residuos sólidos y cambio climático y energía. Con ellos se están implementando diferentes acciones mostradas en la Tabla 1 y que la comunidad está adoptando de buena manera contribuyendo a su realización, para tener una integración con el medio ambiente y entender la importancia que tiene en la supervivencia del hombre.

Estrategias del Plan Verde de la Ciudad de México			
<i>Suelo de Conservación</i>	Proteger, recuperar, conservar y restaurar todas las áreas naturales protegidas (plantas, cosechas, cuencas). Detener la sobreexplotación y contaminación de las fuentes locales de abastecimiento. Crear un cuerpo de vigilancia especializado. Aplicar estrictamente la ley y establecer penas más severas a quienes dañen el patrimonio natural.	<i>Movilidad</i>	Reducir la cantidad de vehículos. Mejorar el transporte público. Promover el uso de la bicicleta. Construcción de ciclo vías verdes. Implementación del transporte escolar. Lograr una sensibilización y educación vial
		<i>Aire</i>	Sustituir microbuses y taxis por nuevas unidades con mayor capacidad y tecnologías menos contaminantes. Introducir diesel de ultra bajo azufre.
<i>Habitabilidad y Espacio Público</i>	Recuperar áreas verdes ecológicas y recreativas. Crear, rescatar y mejorar nuevos espacios públicos. Impulsar las azoteas verdes. Iniciar los programas de "22 nuevos espacios para nuestra convivencia" y "Manos a la obra". Activar el proyecto de vivienda sustentable. Instrumentar el "Certificado de edificación sustentable"	<i>Residuos Sólidos</i>	Fortalecer el programa de separación de basura desde su origen. Realizar campañas permanentes de comunicación social para educar a la población en la reducción, separación, reciclaje y reutilización de los residuos. Modernizar los métodos de recolección, concentración, transferencia, tratamiento y disposición final de los residuos.
<i>Agua</i>	Autosuficiencia hídrica, creando la cultura del ahorro y cuidado del agua. Ampliación de pozos y la construcción de Emisor Oriente Creación de campañas para el control de fugas a nivel domiciliario, instalación de muebles sanitarios de bajo consumo.	<i>Cambio Climático y Energía</i>	Ahorro y uso eficiente de energía en los sectores público, social y privado. Promoción de combustibles alternos. Utilización de nuevas tecnologías para producir energía. Apoyar a las acciones anteriores para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

Tabla 1: Acciones que engloban a cada uno de los principales ejes temáticos en las estrategias del Plan Verde²⁵.

²⁵Secretaría del Medio Ambiente, (2010). El portal de la Estrategia Institucional del Plan Verde. Obtenido en Octubre 8, 2012 en <http://www.planverde.df.gob.mx/planverde/>

1.4.2 En la Arquitectura

A través del tiempo el hombre ha buscado la manera de protegerse del medio ambiente, encontrando calor y alojamiento en su refugio, en su búsqueda de protección ha tomado lo que la naturaleza le ofrece, los medios y materiales disponibles, siendo en un primer momento, su refugio: las cuevas, grutas naturales o artificiales, algunas talladas por el hombre en las rocas con resultados espectaculares. El material "tierra" siempre ha respondido positivamente a la protección que el hombre necesita: protegerse del calor y frío intenso.

El hombre para mejorar su confort y satisfacer sus necesidades de alimento y cobijo ha utilizado los recursos naturales que la naturaleza le ofrece, utilizando los materiales disponibles en la región, de esos materiales flexibles, dúctiles, livianos creaba estructuras rígidas y durables para construir sus viviendas. Todos estos conocimientos se transmitían de generación en generación logrando un aprendizaje y respeto por la naturaleza del entorno. Las construcciones se adaptaban a las condiciones del clima, utilizando técnicas para la ventilación del espacio, así como para mantener fresco el interior en climas cálidos y conservar el calor en climas fríos.

En la época actual, quizás se ha olvidado el diseñar con y para el medio ambiente, ya no se usa la bioclimática como un aspecto integral en cada proyecto, sino que es utilizado solo cuando el cliente lo pide. Ésta enseñanza no debe perderse, porque es por esa pérdida que la construcción hoy en día es quien provoca más contaminantes a la atmósfera. La bioclimática debe estar siempre en el diseño de cualquier edificación, buscando la mejor ubicación y correcta orientación solar, diseñando la forma adecuada para el uso correcto de la luz y la ventilación, utilizando los materiales que no tengan un fuerte huella de carbono, es decir que sean de la región y no tengan que trasladarse de lugares lejanos y además que las envolventes contribuyan a un adecuado comportamiento térmico.

Incluir las prácticas bioclimáticas en el diseño arquitectónico puede reducir los impactos negativos al ambiente, además de mejorar los procesos de construcción, producción, transporte, explotación de recursos, ventas y mantenimiento. Construir sustentablemente es una necesidad inmediata, integrar la arquitectura a la naturaleza sin afectar los sistemas físicos, químicos y

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

biológicos del sitio, construir para el futuro, no sólo en términos de durabilidad del edificio, sino también del planeta y sus recursos²⁶.

Incorporar la naturaleza a la arquitectura contribuye en atenuar los ruidos producidos por el tráfico rodado y la contaminación acústica urbana; durante el invierno puede funcionar como barrera para desviar eficientemente los vientos, reduciendo con ello la pérdida por convección del calor de un edificio. Por ello, es que surgen las naturaciones en cubiertas y fachadas, para rescatar un poco la convivencia con la naturaleza, integrarla a la arquitectura como un elemento de diseño estético, pero que además contribuye con la mejora del medio ambiente y la imagen urbana en la ciudad.

1.4.3 Con el Hombre

Desde el punto de vista psicológico, la implementación de vegetación en los espacios habitables, crea ambientes agradables, presentan beneficios a la salud entre los usuarios ya que por el solo hecho de tener algo vivo y natural se reduce el estrés, además de mejorar su productividad, su concentración y sus actitudes. Así mismo en los espacios urbanos, las áreas verdes generan cambios sociales, económicos y medioambientales. Un espacio verde atrae la convivencia social, la integración de los diferentes niveles de estatus en la sociedad se logra dar, la gente se relaja y olvida sus problemas tanto personales como laborales, además, la población se vuelve participe en el mantenimiento y cuidado de estos espacios, ya que en las grandes ciudades, al tener escasos de ellos, éstos se valoran.

Un ejemplo de lo anterior se puede ver en la ciudad de New York, en Estados Unidos, la recuperación de la antigua línea elevada de ferrocarril utilizada por última vez en los años 80s y que gracias al empeño del grupo Friends of High Line²⁷ se logró proteger este espacio de las autoridades

²⁶ Vargas Palma, G. A. (2008). *Sistemas en Fachadas: Hacia la Bioclimática Vertical en la Ciudad de México*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México. pp. 2.

²⁷ Friends of High Line es una sociedad privada sin fines de lucro del Departamento de Parques y Recreación de la Ciudad de Nueva York. Friends of the High Line colabora con el Ayuntamiento para asegurarse que la High Line se mantenga como una gran plaza pública para el disfrute de todos los neoyorquinos y visitantes. Además de supervisar el mantenimiento, operaciones y programas públicos para la High Line, se está trabajando en aumentar el financiamiento privado, esencial para ayudar a completar la construcción de la línea y crear un fondo para sus operaciones futuras. Fuente: <http://www.thehighline.org>.

que pensaban en demolerlo, fue entonces que se resucitó un lugar abandonado e inútil, para convertirse en un área verde para la ciudad, se construyeron nuevos pavimentos, se realizaron plantaciones de nueva vegetación, se crearon áreas de descanso para los transeúntes a lo largo del camino así como algunas líneas de agua, con ello se logró que la comunidad tuviera un punto de encuentro y esparcimiento donde pueden disfrutar del aire fresco por la altura y de la flora que ofrece este parque elevado, creándose también módulos para atraer a las aves y disfrutar de sus cantos; este espacio es un punto que la gente identifica en su ciudad, se siente parte de él y como tal, respeta y valora.

Kaplan R. en 2001, realizó un estudio en seis comunidades de departamentos de poca altura, donde afirma que tener elementos naturales o un entorno natural a la vista desde sus ventanas, contribuye grandemente en la satisfacción de los residentes con su vecindario, además de provocarles un sentido de bienestar. Según este estudio, las vistas de jardines, flores y zonas ajardinadas desempeñan un positivo e importante papel en la satisfacción de los residentes con respecto a la naturaleza y la vecindad. Así mismo, este estudio cita también el potencial que los elementos naturales tienen para contribuir de manera significativa al bienestar y la satisfacción del mismo. Concluyendo con la sugerencia de iniciar planes de acción para conectar la vista de los usuarios de los edificios con entornos naturales.

Por otra parte, estudios científicos realizados en Washington State University, mencionan que con el simple hecho de tener plantas a la vista, en un ambiente de trabajo, produce respuestas fisiológicas positivas sobre la presión sanguínea y el control de las emociones. Este estudio demostró que al añadir plantas a un espacio interior, influyó en los participantes en su productividad y en la sensación de estrés, logrando que fueran 12% más rápidos en tiempo de reacción y su tensión arterial disminuyera. Además de que los participantes en el estudio dijeron sentirse más atentos con plantas presentes. El medio ambiente, es percibido y evaluado a nivel individual con sus características físicas y sociales a través de las funciones cognoscitivas del ser humano. Si estas evaluaciones son juzgadas como aceptables, habrá homeostasis, es decir, un equilibrio entre el individuo y el ambiente. Por el contrario si resultasen negativas, se desencadenan procesos desintegradores en el individuo a nivel cognoscitivo, emocional y social; el individuo siente los efectos del estrés y las angustias, eso poco a poco se convertirá en comportamientos negativos o

francamente patológicos en el sujeto y en la comunidad²⁸. El contacto con la naturaleza ayuda en la regulación y gestión de los recursos psicológicos, provoca emociones positivas y mejora el estado de ánimo de las personas, además de que logra mayores niveles de significado y coherencia, mejora la autoestima y el bienestar consiguiendo mayor participación y sociabilidad²⁹.

1.5 Arquitectura Verde: una Tendencia

Un tema que se vuelve muy importante es hacia dónde vamos, con la utilización desmedida de los recursos naturales nos estamos quedando sin tierras fértiles que nos proporcionen alimento, el aumento de la población demanda mayor espacio habitable y mayor consumo de productos. La importancia del cuidado del planeta no es un tema nuevo, ya desde los años 70's se he planteado la necesidad de frenar ese crecimiento acelerado de población, la industrialización, contaminación, la producción de alimentos y explotación de los recursos naturales en el informe Los Límites del Crecimiento (1972) presentado al Club de Roma por el MIT³⁰. En la actualidad se convierte en una necesidad de aplicación urgente, y es por ello que surgen cada vez más, productos verdes, construcciones verdes, planes de acción verdes, en donde se toma conciencia de la importancia de utilizar medidas alternativas que disminuyan el consumo de los recursos no renovables, disminuir el daño causado a la naturaleza.

En el libro *Cradle to Cradle* (2005), se expone de forma creativa el proceso que deberían seguir la elaboración de nuevos productos, la importancia de regresar a la naturaleza lo que le pertenece, y lo que no, buscarle un uso adecuado hasta que su ciclo de vida termine, eliminar la basura, que ésta se convierta en el alimento de otros, así como la misma naturaleza lo hace, en ella no existen desechos, sino que es el alimento de otros microorganismos. Los autores nos muestran su llamamiento a que respetemos las reglas de la naturaleza, con la finalidad de que la próxima nueva revolución industrial prometa crear un mundo movido por energías renovables, completado con

²⁸ Zimmermann, M. (2010). *Psicología ambiental, calidad de vida y desarrollo sostenible*. Colombia, Ecoe Ediciones. pp. 28.

²⁹ García Villalobos, I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.

³⁰ Meadows, D., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento*. Editorial Fondo Cultura Económica, México

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

productos intrínsecamente saludables y seguros, que sean distribuidos de forma económica, ecológica, equitativa y estética³¹.

Esta necesidad de actuar también se ha empezado a aplicar a la arquitectura, con el surgimiento de nuevos materiales, nuevas técnicas de naturación, así como utilizar las propiedades del clima en beneficio de las edificaciones, la utilización de materiales de la región, evitando el transporte y reduciendo la huella de carbono, optando por medidas que son en beneficio del ambiente, por lo que han surgido nuevos conceptos para hacer arquitectura.

Granja Vertical

Estudios de la FAO y NASA, demuestran que para el año 2025, el 80% de la población de la Tierra vivirá en centros urbanos. Por lo que se necesitarán 109 hectáreas de nuevas tierras para cultivar los alimentos y que sean suficientes para abastecer a la población humana que se estima incrementará a alrededor de 3mil millones para ese año. En la actualidad, más del 80% de la tierra en todo el mundo que es propicia para cultivos está ocupada y el 15% de ellas han sido devastadas por malas prácticas de manejo.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente es que surge esta arquitectura: granja vertical, un concepto de la agricultura para cultivar plantas dentro de edificios, conformado por varios niveles o hasta rascacielos. La idea es que estos edificios funcionen como invernaderos de gran dimensión, en los cuales se utilizarían tecnologías como la hidroponía para el cultivo de las plantas, incluso la práctica de la avicultura en los niveles inferiores.

Un ejemplo de ello es un proyecto creado por Plantagon (2013), una empresa sueco-estadounidense, proponiendo una granja vertical con forma de cúpula geodésica que contiene un gran invernadero urbano (ver imagen 31). Plantagon explica que la granja *“cambiará drásticamente la forma de producir alimentos orgánicos y funcionales. Permitirá producir ecológicamente con aire y agua limpia dentro de entornos urbanos, incluso en las principales ciudades, reduciendo los costos y*

³¹ Braungart, M., McDonough, W.(2005). *Cradle to cradle: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Editorial McGraw Hill. Madrid, 2005.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

daños ambientales al eliminar el transporte y al hacer entrega directamente a los consumidores". El proyecto cuenta con una rampa en espiral, proporcionando el espacio necesario para el crecimiento y la producción de alimentos (ver imagen 32). La cúpula de cristal que cubre el espacio de las rampas, entregará la luz adecuada que se necesita para alimentar a los jardines, y puesto que el cristal es curvo, cantidades variables de luz solar entrarán en función del ángulo de incidencia³².



Imagen 31: Vista en la ciudad del proyecto granja vertical.
Fuente: Plantagon.com/Feeding the city.



Imagen 32: Proyecto granja vertical.
Fuente: Plantagon.com/Feeding the City

³² Franco, J., (2013). *Plantagon Granja Vertical: alimentando a la ciudad*. Obtenido Febrero 11, 2013 en <http://www.archdaily.mx/195399/>

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Por otro lado, surge recientemente la Propuesta de Granja Vertical Aeropónica por Jin Ho Kim, respondiendo a la problemática de que actualmente más de 3 millones de personas dependen del arroz como alimento básico, lo que genera no solo una gran demanda de producción, sino también por los campos de cultivos, es que se diseña ésta granja vertical de bambú especialmente para el cultivo de arroz. Éstas usan tecnologías de cultivo aeropónico que consumen muy poca agua, además de generar nuevos empleos y suministrar los alimentos necesarios para cada zona urbana en particular, sin necesidad de trasladarse de largas distancias. La estructura del proyecto consiste en una serie de paralelogramos de bambú que crea terrazas de arrozales paso a paso. Cuenta con un sistema de riego natural, que poco a poco desciende por gravedad a través de una red de caminos de riego (ver imagen 33).

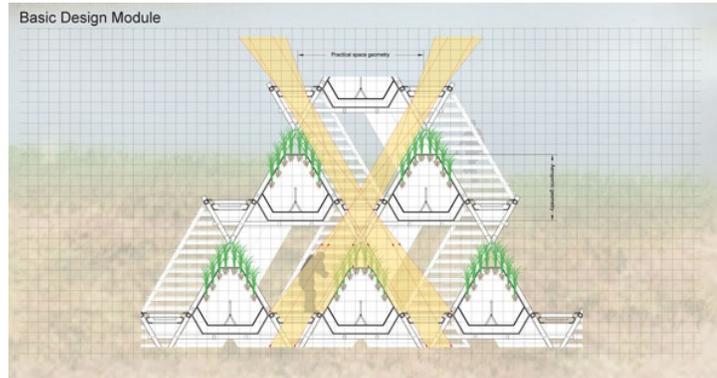


Imagen 33: Módulo básico de diseño. Fuente: Jin Ho Kim, <http://www.archdaily.mx>

La ventaja es que los rascacielos se encuentran dentro de las ciudades para evitar procesos innecesarios, como el embalaje, el transporte y el almacenamiento. Las instalaciones estarán al servicio de la comunidad local, ofreciendo innumerables puestos de trabajo y oportunidades para los habitantes (ver imagen 34)³³.



Imagen 34: Propuesta de granja vertical por Jin Ho Kim. Fuente: Jin Ho Kim, <http://www.archdaily.mx>

³³ Franco, J., (2013). *Propuesta de Granja Vertical Aeropónica por Jin Ho Kim*. Obtenido en Marzo 23, 2013 en <http://www.archdaily.mx/207351/>

Concreto Biológico

De igual forma, el surgimiento de nuevos materiales que sean amigables con el medio ambiente y que además proporcione espacios de confort en las edificaciones es que se crea éste material, desarrollándose en la Universidad Politécnica de Cataluña, los investigadores del Grupo de Tecnologías de Estructuras estudian el nuevo tipo de hormigón biológico a partir de los materiales a base de cemento. El primero de ellos es el hormigón convencional carbonatado (basado en cemento Portland), con el cual obtienen un material de un pH del entorno de 8. El segundo material está fabricado con un cemento de fosfato de magnesio (MPC, del inglés Magnesium-Phosphate Cement), conglomerante hidráulico que no requiere ningún tratamiento para reducir el pH, puesto que este es ligeramente ácido³⁴.

La innovación de este material, es que se comporta como un soporte biológico natural para el desarrollo y crecimiento de determinados organismos biológicos, específicamente ciertas familias de microalgas, hongos, líquenes y musgos. Por lo que este material está ideado para utilizarlo en fachadas de edificios u otras construcciones, ofreciendo ventajas medioambientales, térmicas y ornamentales. Además de que tiene la capacidad de captar la radiación solar, permitiendo regular la conductividad térmica en el interior de los edificios, el hormigón biológico funciona no solo como material aislante y regulador térmico, sino también como una alternativa ornamental, de forma que sirve para decorar la fachada de edificios (ver imagen 35).

A diferencia de los sistemas actuales de fachadas vegetadas y jardines verticales, el nuevo material plantea un crecimiento biológico sobre el mismo material de soporte; por lo tanto, no necesita complejas estructuras portantes y permite seleccionar la zona de la fachada en la que se quiere obtener crecimiento biológico (ver imagen 36). Las fachadas vegetadas y los jardines verticales se basan en la utilización de un sustrato vegetal contenido en algún tipo de recipiente, o bien mediante cultivos totalmente independientes de sustrato, como por ejemplo los cultivos hidropónicos.

³⁴ Página electrónica Sala de Prensa, de la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. *Desarrollan un hormigón biológico para construir fachadas "vivas" con líquenes, musgos y otros microorganismos*. Noticia del 12 de diciembre 2012. España. Obtenido en <http://www.upc.edu/saladeprensa>

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Sin embargo, estos cultivos requieren complejos sistemas auxiliares al propio elemento constructivo (capas de material) e incluso estructuras adyacentes de tipo metálico o plástico que comportan complicaciones asociadas a cargas adicionales, así como reducción de luminosidad y reducción del espacio circundante del edificio. El nuevo hormigón “verde” consigue el crecimiento directo de los organismos a partir del conjunto multicapa.

La investigación ha dado fruto a una tesis doctoral que está elaborando Sandra Manso. Actualmente se está llevando a cabo la campaña experimental correspondiente a la fase de crecimiento biológico, que se realizará entre la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) y la Universidad de Gent (Bélgica). Esta investigación ha contado con el apoyo del profesor Antoni Gómez-Bolea, de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona, quien ha hecho aportaciones en el ámbito de crecimiento biológico sobre materiales de construcción³⁵.



Imagen 35: Simulación de una fachada vegetal en el Hotel Ako-Suites Aparthotel de Barcelona. Fuente: UPC.



Imagen 36: Simulación de una fachada vegetal en el Centro Cultural Aeronáutico del Prat de Llogregat. Fuente: UPC.

³⁵ Página electrónica Sala de Prensa, de la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. *Desarrollan un hormigón biológico para construir fachadas “vivas” con líquenes, musgos y otros microorganismos.* Noticia del 12 de diciembre 2012. España. Obtenido en <http://www.upc.edu/saladeprensa>.

Concreto Vegetal

En este sistema el muro verde se compone de placas de concreto las cuales tienen orificios que funcionan como poros donde crece la vegetación, tiene un sistema de tuberías y aspersores aparentes y se espera que las plantas cubran el concreto en su totalidad (ver imagen 37). Este ciclo permite mantener a la vegetación con vida en los muros y consiste en un proceso con características sustentables, ya que empieza con una captación y reutilización de agua de lluvias para el riego de la capa vegetal en los muros. El agua recolectada llega hasta las plantas a través de un sistema de tuberías que recorren perimetralmente el edificio y que van bombeándola hasta los muros desde los cuales empieza a crecer la vegetación (ver imagen 38 y 39).



Imagen 37: Vista sin riego con aspersores. Fuente: Nelson Kon. <http://www.dezeen.com>



Imagen 38: Vista de riego con aspersores. Fuente: Nelson Kon. <http://www.dezeen.com>



Imagen 39: Fachada de concreto vegetal con "poros" donde crecen las plantas. Fuente: Nelson Kon. <http://www.dezeen.com>

Como se puede ver, la innovación de materiales para fachada verdes está llamando la atención a investigadores que buscan mejorar el medio ambiente, encontrar métodos para que las edificaciones desde su origen sean amigables con su entorno, que en sus materiales ya estén insertas las ventajas y no sea una adecuación posterior. Los materiales deben ser integrables desde el inicio del proyecto y este es un ejemplo de que sí se puede lograr, aún falta un largo camino por investigar pero, ya se está en vías de conseguirlo.

CAPÍTULO II.- Sistema de Fachadas Verdes

La incorporación de los muros verdes en los edificios está tomando gran relevancia en la arquitectura, ya no sólo es el uso de la quinta fachada como sistema de naturación, también se está incorporando el uso de los planos verticales como fachadas verdes para crear un ambiente de confort ejerciendo una importante influencia en la construcción, tal es el caso de Alemania, donde se natura aproximadamente 4 millones de m² de edificios dentro y fuera de las ciudades. Esto trae consigo una mejoría en los microclimas exteriores en las grandes urbes, lo que proporciona temperaturas bajas en el verano y regulan la humedad del ambiente. Así mismo el sistema de muros verdes cualquiera que este sea, capta las aguas pluviales aprovechándolas al máximo y evitando inundaciones en los desagües, además de proporcionar una agradable estética al usuario, incluso a la ciudad misma.

La implementación de los muros verdes a las fachadas se debe a dos factores que están afectando a nuestro planeta, una de ellas es la mínima superficie de áreas verdes que se tiene en las grandes ciudades, que con el crecimiento y la necesidad de ocupar la superficie se ha reducido la vegetación de los alrededores de la ciudad, provocando que en ella misma no exista la suficiente que como lo indica la ONU es de 16m² de áreas verdes por persona; el segundo factor son los materiales empleados en la construcción, los cuales no poseen características aislantes o poseen muy poca que nunca es suficiente para reducir la ganancia térmica a lo largo del día. Por lo dos factores anteriores se genera una ganancia térmica al interior de los espacios volviéndolos difícil de habitar, por lo que entonces se recurre a la utilización de aparatos de climatización, que en ocasiones el uso puede prolongarse mucho más allá de los tiempos laborales en las oficinas, o en las viviendas cuando no se están habitando generalmente se dejan los aparatos funcionando.

El uso continuo de climas artificiales genera dos efectos principales: un alto consumo eléctrico y una generación de gases contaminantes a la atmósfera. El primero debido a que los aparatos consumen gran cantidad de energía para su funcionamiento, su utilización diaria genera que el consumo eléctrico sea mayor y por lo tanto afecta la economía. De igual forma los gases que liberan los aires acondicionados afectan la atmósfera, aunque con la preocupación por la capa de ozono, se están empleando nuevos refrigerantes que no atenten contra ella. Sin embargo estas

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

emisiones de gases están provocando enfermedades respiratorias a la población, estos mismos gases que se generan provocan el efecto invernadero, y la temperatura se incrementa debido a ello.

Dentro de los gases contaminantes están:

- Vapor de agua H_2O .- El vapor de agua que es un gas que se obtiene por la evaporación o ebullición del agua líquida o derretimiento del hielo.
- Dióxido de carbono CO_2 .-Es el óxido de carbono, compuesto por dos átomos de oxígeno y uno de carbono.
- Metano CH_4 .- Es un hidrocarburo alcano más sencillo. Cada uno de los átomos de hidrógeno está unido al carbono por medio de un enlace covalente.
- Óxidos de Nitrógeno NO_x .- Se aplica a varios compuestos químicos binarios gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno.
- Ozono O_3 .- Es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse a los 2 átomos que componen el gas de oxígeno.
- Clorofluorocarbonos.- Es uno de los derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrogeno por átomos de flúor y/o cloro principalmente.

Así mismo, existen las partículas menores a 10 micrómetros que están en la atmósfera, como lo son las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ generados por los gases de los vehículos, los polvos de la ciudad, entre otros.

El medio ambiente es muy importante en la vida de la humanidad, es necesario su cuidado y conservación, porque de ahí parte toda la subsistencia del hombre, por ello es un tema principal en esta investigación. Si se tiene un medio ambiente sustentable, se podrá generar un bienestar social en la sociedad; en la ciudad, al tener una imagen agradable y seguridad para sus habitantes existe un incremento en la economía por las inversiones que se hacen en la ciudad o el turismo que llega a ella para disfrutar de una estancia placentera.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

El producto resultante de la investigación se considera que podrá ser utilizado desde el inicio de la construcción del edificio como parte de los materiales a emplear en la construcción, siendo un material de construcción debe ser escogido en el diseño arquitectónico, por lo tanto la instalación hidráulica y sanitaria también debe ser estudiada y diseñada para llevar el suministro de agua a las plantas del panel, y se pretende utilizar las aguas grises del edificio previamente tratadas.

Se podría decir que esta implementación llevará su tiempo para que sea completamente aceptada teniendo en cuenta sus características de vida útil, sin embargo es un comienzo para incluir su quehacer en la sustentabilidad, ya que al ritmo que va creciendo la construcción y en la utilización de recursos del planeta para satisfacer las necesidades actuales de la sociedad, se debe tener en cuenta que no debemos comprometer los recursos para las generaciones futuras.

Posterior a realizar la investigación de muros verdes en diversos países, se puede decir que aún falta mucho por lograr una tecnología única en este aspecto, cualquier grupo de personas que quiere implementar este concepto busca desarrollar su propio método, esto es muy válido, puesto que en cada región se tienen diferentes tipos de climas y por ende diferentes tipos de vegetación. Los sistemas pueden ser parecidos en la estructura (los componentes) pero son muy diferentes en sus tipos de herramientas. Y aun cuando existan diversos métodos, cada uno de ellos presentan algunas deficiencias que con el tiempo se han estado mejorando, se opta por buscar un método más económico y sustentable (ver imagen 40 y 41).



Imagen 40: Fachada con paneles de aluminio que funcionan como jardineras verticales. Fuente: Kengo Kuma & Asociados. <http://kkaa.co.jp>



Imagen 41: Paneles ligeramente inclinados que entregan una apariencia orgánica. Fuente: Kengo Kuma & Asociados. <http://kkaa.co.jp>

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Y observando estos comportamientos es que se decide buscar un sistema que sea adaptable para todos los lugares, y que solo varíe el tipo de planta a utilizar de acuerdo a las especies de la región. Por ello el objetivo de crear este panel vegetal es que sea comercializado para distintos lugares de los diferentes países en desarrollo de edificaciones verdes o sustentables. Si bien es un inicio y falta mucho quizás para que ello se dé, pero ésta investigación es una forma de empezar a sembrar la semilla y que futuras líneas de aplicación se desarrollen.

Estamos en vías de desarrollo hacia la sustentabilidad, el estar acabando poco a poco con el medio que nos rodea, un futuro inevitable es ser sustentable en todos los aspectos de nuestra existencia, desde el hogar hasta el trabajo y vida socio-cultural; los cambios climáticos que se han generado con la contaminación de las grandes ciudades y la poca retribución del uso de los recursos naturales es que se ve en la necesidad de fomentar el cuidado y la importancia de la naturaleza. Por ello está siendo de vital importancia la naturación de azoteas y la implementación de muros verdes en edificios existentes, entonces por qué no hacerlo desde los inicios de un proyecto estas consideraciones; en un futuro no muy lejano, el que sea un requisito tener en las edificaciones techos y muros verdes será una realidad.

2.1 Descripción de los Diferentes Sistemas en el Mercado

Existen diferentes sistemas de muros verdes, cada persona, grupo o asociación que lo desarrolla e implementa posee su propio método, y día con día la tecnología va mostrando avances que permiten realizar mejoras a cada sistema; por ello mismo es que dependiendo del tipo de plantación que se requiera, el tipo de instalación adecuada al espacio y el sistema de riego correcto, es que se escoge el tipo de muro o fachada verde a incorporar en la edificación.

2.1.1 Hidropónico

Elimina la necesidad del uso de tierra o cualquier otra materia vegetal, ya que los nutrientes son cuidadosamente dosificados para promover un controlado y sano crecimiento de las plantas. El circuito cerrado de riego asegura una disponibilidad constante de humedad y nutrientes, lo que garantiza que las raíces nunca van a invadir la estructura o el muro³⁴. Otra definición que hace Verde 360 es, cubrir las fachadas con fieltros sintéticos livianos, dentro de los cuales circula el agua previamente enriquecida con nutrientes, lo que vuelve innecesaria la tierra. A ésta técnica se le conoce como hidroponía y permite que las plantas crezcan en un plano totalmente vertical³⁵.

Estos sistemas se basan en la patente de Patrick Blanc, ya que su técnica permite eliminar los problemas de peso del sustrato y por lo tanto asegura la vegetalización de las superficies en los edificios a grandes alturas. La técnica consiste en dos capas de fieltro de poliamida sobre unas placas de PVC expandido de 10 mm de grosor que se fijan a una estructura metálica que asegura el aislamiento con el muro portador. Sobre este fieltro, con propiedades de capilaridad y retención de agua es que se desarrollan las raíces de las plantas.

El riego se efectúa a partir de un conjunto de tubos regularmente agujerados, superpuestos a partir del nivel superior del muro vegetal. El sistema está programado por electroválvulas acopladas a un distribuidor de solución nutritiva poco concentrada. Con ello el mantenimiento es bajo ya que

³⁴ Extracto tomado de la definición de un muro verde descrito por la compañía Econstrucción, para un futuro sustentable, México, D.F. Página web: <http://www.econstruccion.com.mx>

³⁵ Extracto tomado de la revista Boxer Motors, año 2, número 8, México 2010.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

las malas hierbas no son capaces de invadir estas superficies verticales. En la Tabla 2 se describen los componentes que integran este sistema de muro verde.

Componentes del Sistema	
1	Muro existente al cual se le realiza un análisis previo para conocer sus condiciones de estado.
2	Estructura metálica que va anclada al muro existente y servirá de soporte al muro verde.
3	Membrana impermeabilizante para evitar el contacto de humedad.
4	Primera capa de geotextil (fieltro sintético a base de PET) donde se expandirá el crecimiento de las raíces.
5	Sistema de riego por goteo, localizado en la parte superior del muro y a cada dos metros dependiendo la altura del muro.
6	Segunda capa de geotextil con bolsitas en donde se insertan las plantas.
7	Capa de vegetación previamente seleccionada de acuerdo a la región y diseño que se haya realizado.

Tabla 2.- Características del sistema hidropónico

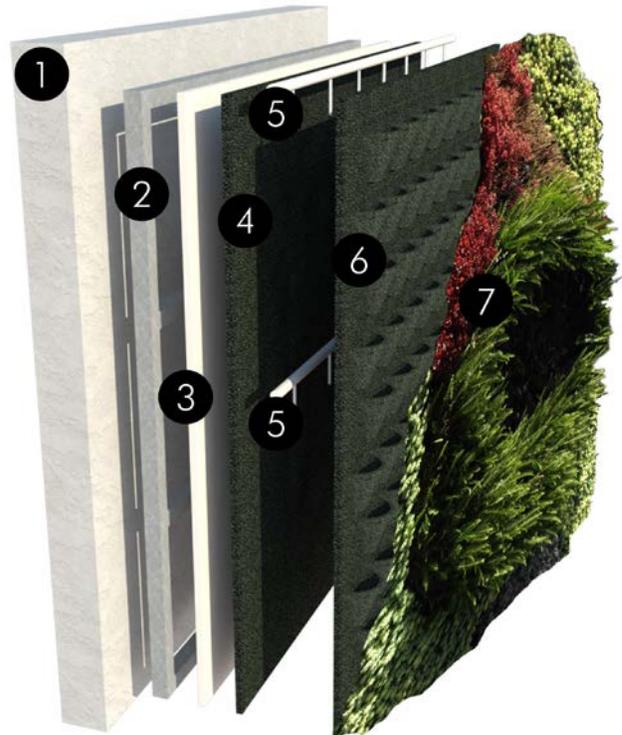


Imagen 42: Problemas presentados en el sistema hidropónico.

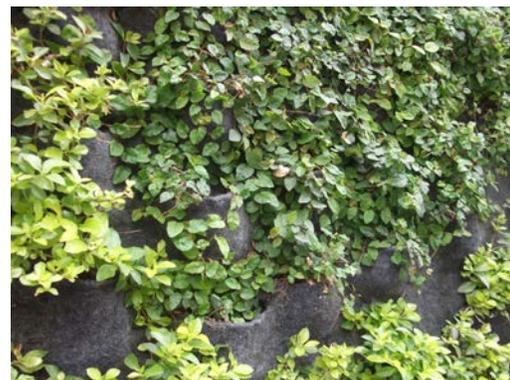


Imagen 43: Acercamiento al sistema, donde se puede apreciar la capa textil.

2.1.2 Modulares

Éstos son sistemas integrales de módulos de plástico, aluminio o acero inoxidable, que incluyen en su diseño el sistema de riego automatizado, y tienen el espacio para el sustrato orgánico donde se insertará la vegetación. Consiste en paneles con diferentes dimensiones no mayores de 60 x 60 cm permitiendo ensamblar las piezas para generar formas complejas, algunos módulos se suministran con las plantas enraizadas y crecidas o con vegetación a ser plantadas en el mismo lugar de instalación.

La ventaja que presentan es que las plantas crecen en bolsas de sustrato que se introducen en las perforaciones de los paneles, permitiendo realizar un mantenimiento sencillo sustituyendo las especies que no se adapten correctamente. En la Tabla 3 se describen los componentes del sistema modular.

Componentes del Sistema	
1	Muro existente al cual se le realiza un análisis previo para conocer sus condiciones de estado.
2	Membrana impermeabilizante para evitar el contacto de humedad.
3	Estructura de acero inoxidable donde los paneles serán colgados.
4	Sistema de riego por goteo. Los tubos son colocados en cada hilera de paneles y cada panel contiene 6 emisores de goteo.
5	Panel de 12"x12" de acero inoxidable sin acabado.
6	Las plantas son colocadas en los paneles 1 ó 6 semanas antes de instalar el muro verde para dar tiempo a que crezcan y se adapten al espacio. La instalación no debe realizarse durante el invierno.

Tabla 3.- Características del sistema modular.



Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Dentro de este sistema se encuentran varias patentes, como son:

Sistema G-Sky. Modular.- Panel de 12" x 12" de polipropileno montado sobre portes de acero. Viene pre-plantado con el sustrato apropiado, filtro de malla y 13 plantas por panel³⁶(ver imagen 44).

Sistema ELT Elevated Landscape Technologies.- Sistema modular fabricado de HDPE 100% reciclado, paneles de 20x20x2.5" que contiene listones que sostienen el sustrato y las plantas³⁷.

Sistema Green Living Technologies.- Consiste en un trasdosado de paneles aminoplásticos fijados sobre rastreles en el que se sitúa una capa sintética donde se fijan las raíces y circula la solución de riego hidropónico (ver imagen 45). El módulo estándar es de 24x24x3" que se complementa con módulos de otros tamaños 12x12x3", 12x24x3" y piezas de esquina³⁸.

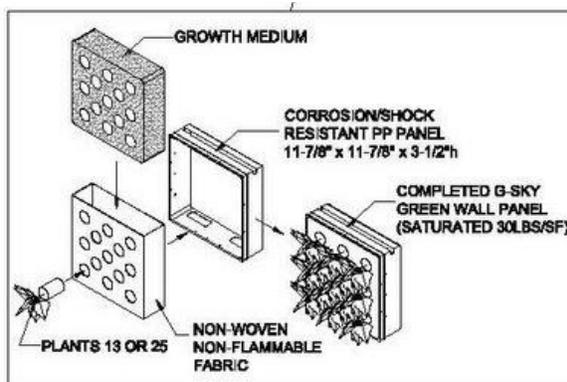


Imagen 44: Sistema G-Sky, Pro wall systems y Versa wall system. Fuente: <http://gsky.com>



Imagen 45: Sistema Green Living Technologies. Fuente: <http://agreenroof.com>

³⁶ G-Sky Plant Systems, Inc. (2004). Pro wall system (for exteriors). Obtenido en Marzo 13, 2013 en <http://gsky.com>

³⁷ ELT EasyGreen, (2001). Vertical Living Wall System. Obtenido en Mayo 16, 2013 en <http://www.eltlivingwalls.com>

³⁸ Green Living Technologies International LLC. Wall-mounted systems. Obtenido en Mayo 16, 2013 en <http://agreenroof.com>

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

2.1.3 Para plantas trepadoras

Es el desarrollo de plantas trepadoras colocadas en la base de la fachada, directamente al suelo o en recipientes con tierra natural que con su crecimiento van cubriendo parte de ésta (ver imagen 46). Es el resultado natural del crecimiento de toda planta. Existen productos de acero inoxidable, como cables tensados que se colocan sobre la fachada para que sean de soporte al crecimiento de las plantas y cubran una mayor cantidad de superficie (ver imagen 47).

Este sistema tiene una alta resistencia a la corrosión y requiere poco o nada de mantenimiento, además de que posee una larga vida útil. Algunas empresas como Carl Stahl DécorCable³⁹ dedicada a la producción de sistemas de cable, mallas, varillas para aplicaciones arquitectónicas, estructurales e interiores, sacó al mercado un sistema para muros verdes llamado Facadescape, combinando la tecnología del cable de acero con los beneficios ambientales del enverdecimiento (ver imagen 48). Con este producto se pueden hacer aplicaciones a cualquier estructura o sitio, desde micro jardines hasta estadios.



Imagen 46: Plantas trepadoras, que se dispersan en la fachada.
Fuente: <http://www.decorable.com>



Imagen 47: Sistema para plantas trepadoras, se muestra la estructura donde se dispersarán éstas.
Fuente: <http://www.decorable.com>



Imagen 48: Sistema G-Sky, producto tipo Basic Wall, compuesto de una caja donde se inserta la planta trepadora.
Fuente: <http://gsky.com>

³⁹ CarlStahl Décorcable. Facadescape Green Wall systems. Obtenido en Diciembre 4, 2012 en <http://www.decorable.com>

2.1.4 Taludes

Se le llaman así a los muros exteriores que funcionan como delimitadores de superficie o muros de contención, los cuales son sistemas destinados a soportar un empuje, fundamentalmente horizontal que proviene del terreno cuyo deslizamiento se pretende contener. Son empleados para crear bordes, esquinas, tramos curvos, en carreteras, centros comerciales, hoteles, campos de golf, jardines domésticos.

Consiste en colocación de bloques de concreto de tal manera que dejen espacio para colocar las plantas que se deseen (ver imagen 49), o con la utilización de mallas electrosoldadas, material de relleno, y una armadura para después colocar las plantas o realizar una hidrosiembra que consiste en regar una mezcla de semillas y otros elementos sobre el terreno para obtener una plantación más uniforme y rápida (ver imagen 50).



Imagen 49: Muestra de colocación de bloques de concreto para jardín vertical. Fuente: <http://blog.is-arquitectura.es>



Imagen 50: Muro de contención con vegetación en vialidad. Fuente: <http://blog.is-arquitectura.es>

2.1.5 Para interiores

Los muros en espacios interiores constituyen un aporte a la salud de los ocupantes, puesto que los efectos positivos que tiene la vegetación sobre el cuerpo humano está la disminución de alergias, fatiga, ansiedad, asma, entre otras molestias causada en el sistema respiratorio y nervioso, por lo que esto conlleva a reducir el “síndrome del edificio enfermo”, refiriéndose a los inmuebles que generan problemas de salud a sus ocupantes, estando ellos en el interior. Para lograr un jardín

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

vertical interior con éxito es importante en primer lugar la selección de plantas, éstas deben responder al tipo de clima y ubicación del muro, así como su mantenimiento idóneo; según la extensión y la accesibilidad convendrá usar un sistema de riego hidropónico, el cual automáticamente administra a cada planta su dosis necesaria de agua por goteo; es importante recibir suficiente luz solar o tener una iluminación artificial adecuada para las plantas⁴⁰.

Es muy importante y necesario tener plantas en los exteriores de los edificios así como en los interiores, que es por ello que existen diferentes aplicaciones de naturación vertical, puede ser el sistema de adosamiento a un muro, muros móviles, marcos u objetos de decoración (ver imagen 51).

Los muros móviles consisten en tener una doble cara, cubierta de plantas con un sistema de riego automático y bolsillos para las plantas (ver imagen 52). El muro es empleado como separador de espacios en oficinas, como puntos de recreación o un detalle verde en cualquier otro espacio público que se beneficie de la limpieza del aire, absorción de sonidos y funciones estéticas. Los marcos naturales crean una decoración en el muro, siendo una opción para espacios reducidos o estrechos.



Imagen 51: Marco vegetal empleado como decoración en muro.

Fuente: <http://www.greenworks.eu>



Imagen 52: Muro móvil, utilizado como separador de ambientes en espacios interiores.

Fuente: <http://www.greenworks.eu>

⁴⁰ Villavicencio, M., (2013). *Muros verdes, una medicina para el "edificio enfermo"*. Interiorismo, Obras Web. Fuente: <http://www.obrasweb.mx>. Página consultada el 16 de mayo 2013.

2.2 Propiedades de la Vegetación

La importancia que tiene la vegetación en la vida diaria del ser humano es muy importante, ya que le proporciona bienestar físico y mental, el estar en contacto frecuente con la naturaleza beneficia a su salud, así mismo purifica el medio ambiente de su alrededor creando un mejoramiento ambiental. Su utilización en los muros verdes debe ser estudiada adecuadamente, ya que se debe hacer un análisis correcto para escoger qué especies son la más aptas para sobrevivir en ese ambiente destinado al muro vivo.

Todas y cada una de las plantas existentes cumplen funciones muy importantes que afectan el comportamiento térmico de los sistemas de naturación, tales como⁴¹:

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

Se vuelve indispensable conocer cada una de las propiedades de la vegetación a utilizar en el sistema, además de que se recomienda escoger plantas endémicas, esto para garantizar la adaptación al clima de la región. En el estudio realizado por los investigadores Mohamed y Sheweka bajo el nombre de Green Façades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change⁴², 2012, señalan varias sugerencias que recomiendan para ser aplicadas en el diseño de fachadas verdes, para mejorar las condiciones ambientales y térmicas:

⁴¹ García Villalobos, I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.

⁴² Sheweka, S. M., & Mohamed, N. M. (2012). *Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change*. Energy Procedia, 18. Cairo, Egipto. pp. 507-520

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

- Las plantas deben introducirse cuidadosamente en la fachada del edificio. La selección debe considerar su mecanismo de apoyo natural y adaptabilidad a un ambiente hostil.
- La vegetación implementada en la fachada, deben estar dispuestos de una forma adecuada de tal manera que reciban los rayos solares la mayor cantidad de tiempo posible.
- El mantenimiento de las plantas integradas en el plano vertical dentro del área urbana, debe considerar que las plantas necesitan agua suficiente y un ajuste regular para evitar peligros.
- La alta humedad relativa compensará el confort térmico especialmente cuando la temperatura sea alta y no haya viento para superar la incomodidad del calor, por lo tanto, es importante considerar la ubicación del muro verde en áreas cerradas, ya que afectará a la temperatura así como a la humedad.

Teniendo en cuenta esos aspectos, el Biólogo Jerónimo Reyes, investigador en el Jardín Botánico Exterior del Instituto de Biología en la UNAM, con sus conocimientos y experiencias en materia de muros y azoteas verdes, hace una sugerencia de plantas de la especie Crassulaceae para la implementación de muros verdes. La cual integra a las siguientes plantas:

- *Sedum Pachyphyllum*.- Perene, de tallos leñosos en la base, muy ramificado. Su floración es de pétalos amarillos (ver imagen 53).
- *Sedum Griseum*.- Planta perenne con hojas simples, dispuestas en una roseta, de color verde grisáceo y lineal con ser márgenes. Sus flores tienen cinco pétalos de color blanco, florecen entre enero y febrero (ver imagen 54).
- *Sedum Confusum*.- Planta tupida y compacta en el crecimiento. Hojas de color verde brillante que forman rosetas en los extremos de los tallos. Los racimos de flores amarillas, en forma de estrella aparecen en verano.
- *Sedum Rubrotinctum*.- Perenne, arbustiva con tallo ramificado, hojas en espiral. Florece en febrero, marzo y septiembre.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

- Graptosedum “Darley Sunchihe”.- Tiene hojas verdes gruesas con puntas rojas que giran en torno a una roseta. Esta variedad se extiende como un sedum con las rosetas que crecen fuera de los extremos de los tallos largos con hojas carnosas espaciadas a lo largo de ella.
- Echeveria Secunda Byrnesii.- es visiblemente verde, en contraste con las demás especies, generalmente blanquecina de hoja ancha de la serie Secundae, que no difiere de modo importante.



Imagen 53: Sedum Pachyphyllum.
Fuente: <http://davarree.free.fr>



Imagen 54: Sedum Griseum.
Fuente: <http://naturacionurbana.blogspot.mx>

Para la selección de plantas a utilizar en un sistema de naturación, la vegetación debe cumplir con los siguientes criterios:

- Resistentes a alta radiación solar.
- Resistencia a temperaturas extremas.
- Resistencia a grandes periodos de sequias.
- Resistencia a niveles altos de contaminación.
- Resistencia a plagas y enfermedades.
- Capacidad de desarrollarse en sustratos poco profundos.
- Capacidad de extenderse rápidamente horizontalmente.
- Se pretende el uso de plantas perennes “siempre verdes”.
- Requerir de cuidados escasos o nulos.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Para efectos de este estudio se eligen dos especies diferentes a las crassuláceas. Por un lado, tomando en cuenta la investigación realizada por Ilse García en 2011, en donde sus resultados arrojaron que la planta *Setcreasea Purpurea* mejor conocida como “niña en barco” fue la que mejor comportamiento térmico tuvo de las cuatro especies que utilizó, se decide elegir esta especie, en esta ocasión para obtener datos de su comportamiento en estado vertical (ver tabla 4).

Existen fachadas verdes de origen natural que no necesitan de ningún tratamiento o aditamento para que se desarrollen, simplemente el crecimiento de las plantas sobre la superficie de los muros van formando una capa vegetal sin necesidad de un mantenimiento riguroso, estas plantas que los generan son las trepadoras o enredaderas.

En América desde tiempos prehispánicos se descubrieron especies trepadoras y se cultivaron gran cantidad de ellas; gracias a sus usos industriales, medicinales y ornamentales fueron incorporadas a la vida cotidiana. Incluso en Mesopotamia, debido a sus propiedades medicinales y ornamentales fueron particularmente integradas en los jardines imperiales.

Actualmente las plantas trepadoras ofrecen un enorme potencial en el diseño de espacios exteriores debido a su versatilidad para adaptarse a incontables funciones de estos espacios abiertos. Por mencionar algunas tenemos que⁴³:

- Incrementan el volumen en un espacio reducido.
- Permiten confinar espacios con estructuras de soporte.
- Cubren estructuras de sombra, como pérgolas, arcadas, celosías y pórticos.
- Tapizan paramentos verticales como muros y cercas.
- Enmarcan vanos. Accesos o vistas.
- Ayudan a crear elementos verticales como columnas de vegetación.
- Crean muros verdes.
- Trepán árboles.
- Logran introducir contraste por forma, follaje, aroma o color.

⁴³ López, R., Cabeza, A., Meza, C. (2000). *Las trepadoras en el diseño de los espacios exteriores*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura, México, D.F. pp. 23-26.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

- Suavizan elementos arquitectónicos.
- Estabilizan taludes.

Existen diferentes especies de plantas que tienen estas características de expandirse sobre la superficie. En esta investigación se optó por la trepadora *Ficus Pumila Variegata*, conocida comúnmente como “monedita varigata” para obtener datos de su proceder frente a la planta niña en barco. En un segundo análisis se decidió evaluar el comportamiento de una segunda planta trepadora *Hedera Helix L.* “hiedra común” realizando una comparativa entre las dos y obteniendo valores térmicos de un espacio interior. En la Tabla 4 se muestran las características generales de cada especie.

Planta	Familia	Nombre Común	Origen	Requerimientos	Características Botánicas
 Setcreasea Purpurea	Commelinaceae	Niña en barco	Este de México, de Tamaulipas a Yucatán	- Sol directo o media sombra. - Clima templado. Húmedo a semiseco. - Cualquier tipo de suelo.	Hojas elongadas y puntiagudas. Flores pequeñas de tres pétalos color blanco, rosa o púrpura y estambres amarillos. Las hojas son verde glauco, comúnmente con una tonalidad roja o púrpura. Tiene hábito de arrastre, sus tallos son gruesos pero frágiles.
 Ficus Pumila Variegata	Moraceae	Monedita varigata	Japón, China y Australia	- Sol directo, media sombra. - Clima templado a templado con tendencia a cálido. Húmedo a semiseco. - Cualquier tipo de suelo.	Hojas simples, alternas, casi sésiles, enteras, de forma acorazada en las etapas juveniles y ovales cuando maduran, coriáceas. Fruto rojo púrpura. Los tallos presentan raíces con discos adherentes, que se pegan fuertemente a los muros. La etapa adulta se alcanza en los climas cálidos.
 Hedera Helix L.	Ariliaceae	Hiedra común	Europa, Norte de África y Asia.	- Sol directo a sombra densa. - Clima Templado. Húmedo a semiseco. - Cualquier tipo de suelo.	Hojas simples, enteras, pecioladas, polimorfas, en etapas juveniles son lobuladas y en etapas adultas pierden los lóbulos, el tamaño es muy variable. Las ramas reproductivas que presentan las hojas en etapas adultas, no tienen raíces adventicias. Fruto globoso, oscuro.

Tabla 4.- Características de las especies.

2.3 Características del Sustrato

En el sistema de fachadas verdes, se ha mencionado que el sustrato no es necesario en algunos casos de la técnica hidropónica, ya que los nutrientes que la planta necesita están incorporados en el agua de riego. Sin embargo, es importante señalar que el sustrato debe ser elegido adecuadamente, tener una mezcla de suelos rica en nutrientes o que en su defecto pueda conservarlos a través del riego.

En sentido vertical dependiendo del diseño del sistema que se maneje, se podrá necesitar mucho o poca cantidad de sustrato; por ejemplo, el diseño del Biólogo Reyes presenta una capa de 7 cms. de sustrato, recubiertas o soportadas por dos capas de geotextil, donde se inserta el esqueje de las plantas crasuláceas que han sido elegidas para conformar el muro verde (ver imagen 55, 56 y 57).



Imagen 55: Vista del contenedor de agua del sistema diseñado por el Biólogo Reyes.



Imagen 56: Diseño general de los muros verdes. Sistema del Biólogo Reyes.

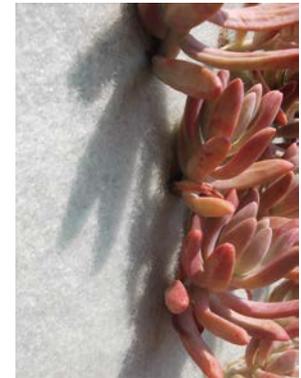


Imagen 57: Vista de los esquejes insertados en la tela geo- textil. Sistema del Biólogo Reyes.

El tema es amplio y por lo tanto deberían existir más investigaciones enfocadas a analizar los tipos de sustrato que mejor le aportan a la planta resistencia y nutrientes para que su desarrollo sea adecuado y las plantas logren adaptarse a ese medio inmediatamente. Existen investigadores interesados en buscar nuevas aplicaciones, nuevos sistemas, materiales, herramientas que ayuden a la mejor adaptabilidad del sistema, sin embargo muchas veces el tema del sustrato se queda en otro plano y no se le da el enfoque necesario en la importancia que este debe tener.

En la investigación de tesis bajo el nombre “*Sistema modular en azoteas verdes para el establecimiento de especies vegetales comestibles en la ciudad de México*” realizada por Norma Lilia Martínez Gómez en 2012, aporta un interesante análisis del sustrato utilizado en azoteas verdes. Describe que la elección del sustrato depende en gran medida de la elección del resto de los elementos y componentes de diseño; por ejemplo, dependiendo del peso estructural que soportará la losa es que se puede determinar el espesor y el peso del sustrato a elegir, en consecuencia la elección de plantas; en otros casos donde el peso estructural no representa ningún problema, la elección de plantas son las que determinarán la elección del sustrato⁴⁴.

Se deben considerar varios aspectos, los cuales son importantes y se vuelven primordiales con el tiempo, como son: el peso, espesor, retención y permeabilidad del agua, así como la pérdida de nutrientes en las plantas. Cada uno de ellos, posee características que le proporcionarán el adecuado desarrollo a la planta, por eso se vuelve indispensable tomar en consideración cada aspecto; conocer la capacidad de humedad a saturación y la retención de agua, considerar en el espesor el deslave que tendrá el sustrato, y los materiales que lo integran debiendo ser ligeros con una estructura estable y con adecuadas propiedades físicas y químicas para el establecimiento de la vegetación.

Los sustratos se integran de componentes orgánicos e inorgánicos y es importante entender cómo funcionan ya que la combinación de ambos permite obtener mezclas adecuadas para su uso. Sin embargo el uso de los componentes orgánicos se busca que sea el mínimo, debido a la pérdida de nutrientes, la compactación y el deslave del suelo que se dan con el tiempo gracias a las condiciones climáticas⁴⁵. Así mismo, la actividad biológica de microorganismo en los sustratos es perjudicial a la planta ya que compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. Algunos componentes orgánicos son: peat-moss (turba), corteza de pino, tierra de hoja, composta, tierra negra; y los componentes inorgánicos: tezontle, arena, agrolita o perlita, vermiculita, tepojal, su ventaja es que no son biodegradables y conservan su estabilidad física, lo que implica menor disminución de volumen.

⁴⁴ Martínez Gómez, N.L. (2012). *Sistema modular en azoteas verdes para el establecimiento de especies vegetales comestibles en la ciudad de México*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.

⁴⁵ Ídem.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Se concluye en la investigación anterior que la selección del sustrato depende de la vegetación seleccionada que se establecerá en la azotea verde, pero que se debe tener en cuenta que con el tiempo y después de la época de lluvias el sustrato se va deslavando, ocasionando que cambien sus parámetros de estructura, humedad, capacidad de campo, textura, espesor, entre otros. Esto provoca el difícil establecimiento de diversas especies vegetales y a su vez, disminuyen los beneficios térmicos que proporciona el sistema a las edificaciones.

Existen en el mercado empresas dedicadas a la comercialización de sustratos, ya sean para uso agrícola, forestal, plantas de maceta, abonos para jardinería, muros verdes, entre otros. Los sustratos utilizados para muros verdes generalmente se componen de perlita, vermiculita, humus y peatmoss. Cada uno proporciona propiedades específicas para que el sustrato tenga las características adecuadas necesarias en el desarrollo y crecimiento de las plantas.

Principales propiedades de los componentes:

- Perlita.- Ayuda a la descompactación, aireación y retención de humedad.
- Vermiculita.- Participa en la retención química de nutrientes y humedad.
- Humus.- Son los nutrientes orgánicos y ayuda en la retención química de nutrientes.
- Peatmoss.- Ayuda en la retención de humedad.

Como ya se ha mencionado, es importante realizar investigaciones a profundidad en el tema de sustratos para muros verdes, existiendo un amplio alcance para conocer que materiales son los indicados y cuál es su comportamiento en presencia de diferentes especies de vegetación. En la investigación no se llevó a cabo el análisis del sustrato, ya que por el alcance que se tuvo y las limitantes surgidas en el desarrollo no fue posible realizar un estudio experimental del mismo. Sin embargo queda abierto el tema para futuras investigaciones.

2.4 Uso del Sistema de Riego

Para que toda planta se pueda desarrollar de manera adecuada, es necesario y de vital importancia contar con un abastecimiento de agua. Esta aplicación de agua debe ser de forma uniforme y con una cantidad determinada de manera eficiente, ya sea manual o automatizado. En los muros verdes se integra en la mayoría de los casos un sistema de riego automatizado, el cual es controlado a través de un equipo diseñado especialmente para que cumpla esa función de abastecer adecuadamente de agua a las plantas del muro o fachada verde.

La mayoría de los casos de éxitos son gracias a un adecuado funcionamiento de irrigación, comprendiendo varios aspectos, algunos de ellos son: considerando las necesidades de agua de cada especie, tomando en cuenta el sistema de plantado, es decir, el tipo de sistema a usar de muros verdes, ya sea hidropónico, modular o contenedores; calcular la distribución uniforme de agua, el control de agua en el proyecto hidráulico y el diseño de ciclos de riego.

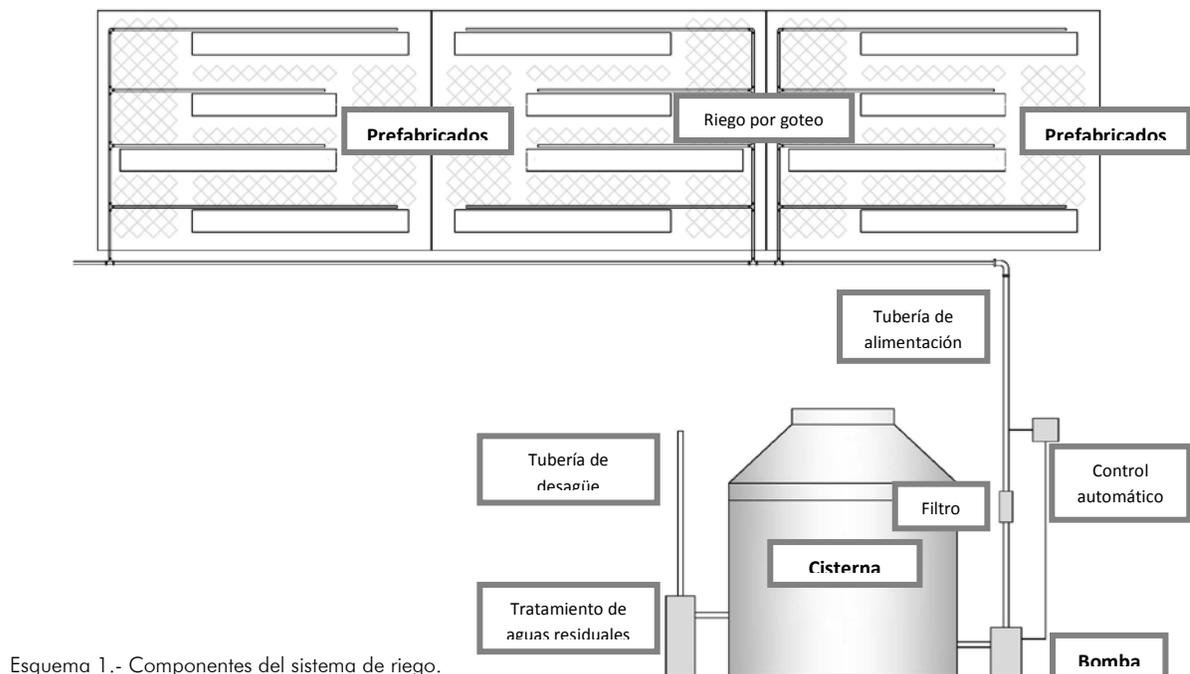
Existen diferentes tipos de riego empleados en el sistema de fachadas verdes, cada uno depende de las necesidades que se requiera para el proyecto y a consideración del propio cliente, ya que también dependerá de los costos económicos en los que se quiera invertir. De cualquier forma es necesario diseñar y proveer de un buen sistema para que el desarrollo de las plantas no se vea comprometido y exista una menor merma de plantas a reemplazar. Entre los diferentes tipos de riego se encuentran:

Por aspersión.- En donde el agua se hace llegar a las plantas a través de aspersores, para ello se requiere de una presión determinada que eleve el agua y caiga sobre las plantas de forma pulverizada o en gotas imitando a la lluvia.

Por goteo.- Consiste en depositar el agua directamente en la planta con un bajo flujo y con una gran extensión de tiempo. Para esto, se utiliza mangueras flexibles con goteros que se incrustan en ellas.

Es importante considerar las características hidráulicas del equipo que se utilizará en la automatización del riego, el cálculo se debe hacer con un experto para tener muy bien en cuenta el gasto y presión que se requerirá para transportar en horizontal y vertical la cantidad de agua requerida, así mismo la potencia de la bomba hidráulica que se necesitará para realizar el trabajo. Por otra parte un punto indispensable, es realizar el diseño de los ciclos de riego, establecer los días y horas para cada sección del muro dependiendo del requerimiento de agua de las diferentes especies. Este diseño debe tenerse en cuenta desde la selección de plantas, para que exista una correlación entre ellas y sea más fácil designar los tiempos de riegos.

En la propuesta se plantea la utilización de aguas grises de la edificación para el riego de las plantas pasando por un tratamiento previo, además de utilizar el agua de lluvia que sea recolectada en épocas de precipitación. Se diseña un sistema de riego que va incluido en el diseño mismo del prefabricado, se planea de tal manera que al momento de anclar los elementos, las conexiones se hagan también entre ellos creando una red hidráulica de riego para los paneles de fachadas verdes. El sistema está integrado en el diseño del panel, el cual funcionará hasta su fabricación, posterior a este estudio. Para conocer la cantidad de agua y la frecuencia con la que se le suministrará a las plantas para controlar su crecimiento es necesario consultar con un experto, ya que el cálculo debe hacerse específicamente para cada diseño de fachada vegetal.



2.5 Paneles Prefabricados

En el proceso de la construcción uno de los puntos importantes es el tiempo de ejecución, en ocasiones el rendimiento de los trabajos no es suficiente y se necesita mayor mano de obra para tener en tiempo la edificación. Con el surgimiento de la tecnología y los procesos industriales, se ha desarrollado la producción en serie de elementos constructivos, que se producen en planta para después transportarlos a la obra, estos elementos por lo general son los de carga, ya sean columnas o vigas.

La construcción industrializada se define como la mecanización de las técnicas de construcción, teniendo relación directa con la prefabricación siendo esta, la producción de elementos constructivos fuera o al pie de la obra. La utilización de las técnicas de prefabricación en México comienza en los años sesenta y principios de los setenta con la construcción del Hotel Regis, empleando vigas de concreto armado. En la actualidad existen empresas que se dedican a la fabricación de elementos para fachadas, donde cada una tiene sus diferentes métodos y técnicas para su elaboración.

El uso de prefabricados en la construcción reduce el tiempo de ejecución y costos de edificación, ya que se envían a la obra los elementos ya fabricados, solo para que se ensamblen y ajusten en la estructura sin necesidad de cortes o alteraciones. Además los prefabricados ofrecen una amplia variedad de diseños, acabados, colores y texturas a bajo costo que en una construcción tradicional sería un tanto difícil representar diseños elaborados y más expresivos. Los límites en el proceso de prefabricados existe solo en los conocimientos del proyectista, ya que las posibilidades son muy amplias pudiendo reproducir desde una fachada antigua hasta elementos más contemporáneos y de vanguardia.

Algunos de los aspectos que se deben considerar en el proceso de precolados es la modulación en el diseño, esto para realizar una adecuada planificación de fabricación en planta e instalación de los elementos en obra; el proceso de fabricación, en el cual es importante tener conocimiento de los productos innovadores del mercado que pudiesen ayudar en el proceso de

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

cómo se va a hacer. En el proceso de producción se incluye el diseño del molde (ver imagen 58), armado y concreto (ver imagen 59), el vaciado de la pasta (ver imagen 60), el acabado que tendrá la pieza, el transporte y montaje final en obra. Cada uno de los aspectos es de suma importancia, ya que de su buena planeación dependerá el ahorro en tiempo de ejecución y ahorro financiero.



Imagen 58: Molde de madera para el prefabricado.



Imagen 59: Colocación del armado de acero.



Imagen 60: Vaciado del concreto para el prefabricado.

Las ventajas que ofrece el uso de precolados en fachadas dieron pie a la propuesta de la construcción del panel vegetal a partir de un prefabricado. En la actualidad no existe un panel que se emplee para dos funciones al mismo tiempo: cerrar el espacio y contener vegetación, es por lo tanto que la propuesta resulta innovadora, ya que no es una adecuación a lo existente, es una ejecución en la construcción. Se hizo un análisis para obtener el diseño del panel, el cual contiene los elementos del sistema de riego, el espacio donde se deposita el sustrato y la planta, así como sus anclajes a la estructura. No se logró llegar a la construcción del prefabricado a escala 1:1 para realizar los análisis, observaciones y mediciones de su comportamiento y desempeño, por lo que queda como base para un posterior estudio.

2.5.1 Materiales

Dentro de la industria de prefabricados existen diferentes materiales para su elaboración, siendo el más común el concreto, que para su fabricación se mezclan cuatro elementos: agua, cemento, arena y grava. Es un material resistente y durable, su pasta puede ser moldeada y compactada y dependiendo su matriz cementante con los agregados será su comportamiento mecánico. Este material ha sido utilizado desde épocas remotas pero fue en 1987 que J. Monier patenta lo que se conoce como concreto armado.

Con la evolución tecnológica se han creado nuevos materiales y con ello nuevos concretos, tal es el caso de los concretos ligeros, surgiendo con la necesidad de mejorar sus propiedades y ofrecer mayores resistencias en menor tiempo de fraguado y mejor durabilidad, así como disminuir espesores, pesos y tamaños. Para obtener un concreto ligero se requiere de agregados ligeros o métodos de producción especiales como elementos espumosos. Algunos tipos de concreto ligero son⁴⁶:

- Concreto de piedra pómez.
- Concreto de globulita o análogos.
- Concreto de espumas.
- Concreto sin finos.
- Concreto celular.
- Concretos poliméricos.
- Concreto reforzado con fibra de vidrio.
- Concreto de alta resistencia.
- Concretos de polvo reactivo.
- Concreto de azufre.
- Concreto traslúcido.
- Concreto con partículas de madera.
- Concreto autocompactable.
- El concreto MicroCad.

⁴⁶ Jaimes Tórres, M. (2010). *Concretos ligeros aplicados a elementos prefabricados en fachadas arquitectónicas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

El concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC) por sus siglas en inglés, es una mezcla de mortero compuesto principalmente con fibra de vidrio, de aproximadamente 1.2 a 5 cm de longitud, es resistente a los álcalis del cemento y dosifica a un 5% del peso total de la mezcla, de cemento Portland tipo II y arena ceros gruesos y finos de mármol para fachadas. Dentro de sus ventajas en la utilización de prefabricados para fachadas están⁴⁷:

- Mayor moldeabilidad gracias a sus características de composición y bajo peso.
- Alta resistencia temprana al impacto, desmolde y transporte.
- Incombustibilidad, alta resistencia al fuego y funciona como barrera térmica en secciones de menor espesor.
- Excelente resistencia a la corrosión.
- Fachadas con menor peso transmitido a la estructura del edificio, pero con mayor resistencia que las fachadas de concreto convencional estructural.
- En paneles de fachadas su peso por m² es inferior al del concreto estructural.

De acuerdo a las cualidades presentadas por el concreto reforzado con fibra de vidrio, es que se utilizan en paneles prefabricados para fachadas y pueden tener diversos acabados que van desde el concreto aparente, estampado, lijado, pulido, sandblastado, martelinados, graneados expuestos, hasta graneados picoleteados profundos.

En la tabla 5 se muestran las características mecánicas del GFRC y los valores que deben presentar.

Propiedad	Unidades	Valores
Resistencia a la compresión	Mpa	50-80
Módulo de elasticidad	G.Pa	10-20
Límite de Proporcionalidad (LOP)	Mpa	7-11
Módulo de Rotura (MOR)	Mpa	15-25

Tabla 5: Propiedades mecánicas del GFRC.

Fuente: Mármol, Patricia. Hormigones con Fibras de Acero, Características Mecánicas. UPM, Madrid, España. 2010.

⁴⁷Nuevas Tecnologías, Reportajes Técnicos Publicitarios. *Concreto reforzado con fibra de vidrio (GFRC)*. Revista Construcción y Tecnología, N. 227, Abril 2007, p.24. Obtenido de la página <http://www.imcyc.com/revistacyt/index.php>

El tipo de vidrio utilizado en el GFRG es el vidrio AR debido a su desarrollo especialmente para reforzar cemento (ver imagen 61). Su alto contenido de óxido de zirconio permite una alta resistencia para los álcalis del cemento. Existen otros tipos de vidrio como el tipo E, empleado en la industria textil; el tipo R, desarrollado para los sectores de aviación, espacio y armamentos ya que satisface las necesidades en temas de fatiga, temperatura y humedad. El vidrio tipo C tiene muy bajas pérdidas eléctricas por lo que es un material



Imagen 61: Rollos de la fibra de vidrio que se mezcla con el mortero.

permeable a ondas electromagnéticas; y por último el vidrio tipo C, usado para la producción de vidrio donde las propiedades de resistencia a ataques externos (capa anticorrosiva de tubos) son los requeridos. En la tabla 6 se muestran los diferentes tipos de vidrio y sus propiedades.

Propiedades	Vidrio E	Vidrio D	Vidrio R	Vidrio AR
Densidad (g/cm ³)	2.60	2.14	2.53	2.68
Resistencia a la Tensión (MPa)	3400	2500	4400	3000
Módulo Elástico (GPa)	72	55	86	72
Resistencia a la Rotura (%)	4.5	4.5	5.2	4.3

Tabla 6: Propiedades mecánicas de los diferentes tipos de vidrio.

Fuente: MármoI, Patricia. Hormigones con Fibras de Acero, Características Mecánicas. UPM, Madrid, España. 2010.

Propiedades	GFRG
Densidad (kg/cm ³)	21
Resistencia a la Compresión (Psi)	10,000 a 12,000
Peso Instalado por m ²	60 a 90 kg/m ²
Punto de Rotura %	0.03 a 0.06
Coefficiente de Dilatación	13.6 x 10
Conductividad Térmica BTU	0.59 a 1.19
Módulo de Elasticidad	2.5 x 10

Tabla 7: Propiedades generales del GFRG.

Fuente: Unmódulo, facade engineering + build.

Características Técnicas del GFRC:

Económica: ahorro en el transporte, estructura, montajes e instalación.

Larga Duración: Inalterable a la corrosión u oxidación. Se utiliza fibra de vidrio que AR, resistente a los ataques alcalinos por lo que no se produce envejecimiento del material.

Ligero: Debido a su espesor de 8 a 15 mm, el peso final suele ser un 10-20% del peso equivalente de la pieza en concreto armado, es moldeable por lo que permite formas complejas. Se convierte en un material perfecto para remodelación, rehabilitación y reparación de construcciones.

Resistente: Combina las propiedades de alta resistencia a la compresión de los morteros de cemento con la alta resistencia a la tracción que aporta el refuerzo de fibra de vidrio.

Sostenibilidad: Ya que su fabricación necesita menos áridos extraídos de las canteras permite beneficiar al medio ambiente.

Dentro de sus propiedades físicas: es impermeable al agua, térmico aislante, aislante acústico e ignífugo (alta resistencia al fuego).

Por lo anterior y debido a las cualidades y propiedades que se requiere para el panel de fachada verde, tomando en cuenta los aspectos de diseño del panel así como el peso y resistencia que debe tener, es que se utiliza este material para la elaboración del prototipo.

2.5.2 Sistemas de anclaje a estructura

Los prefabricados para fachadas no llevan una función estructural, cumplen su función de cerrar el espacio, delimitar el exterior del interior. De acuerdo a los materiales con que se elaboran y la construcción del muro en el interior, es que tienen propiedades aislantes térmicas y acústicas. Una importante característica de un prefabricado es que se fija a la estructura del edificio mediante anclajes, permitiendo tener una mejor calidad y construcción a un tiempo significativamente menor que los sistemas tradicionales.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

El montaje e integración de los precolados es uno de los procesos más importantes de una fachada prefabricada, ya que su resultado depende de una planificación, coordinación y ejecución correcta. Es necesario determinar desde el diseño de la fachada las vigas y columnas a los que se anclarán los paneles y los elementos que se utilizarán para su colocación. Así mismo se debe planificar un ritmo en la secuencia del trabajo desde los colados en fábrica o en situ, el transporte y los montajes en obra.

En el montaje existen tres etapas muy marcadas e importantes: transporte y elevación, colocación y sellado.

El transporte se realiza mediante tractocamiones, plataformas, grúa camión, entre otros, las dimensiones, peso propio y geometría de los precolados son los que definirán el tipo de transporte que se utilizará, cabe señalar que la correcta estiba (colocación) del precolado en el transporte garantizará las condiciones con que llegará el producto a la obra. Para la elevación del elemento se dejan roscas, casquillos o bulones embebidos en el concreto, a estos se le conectan cadenas, eslingas o barras que estarán unidos a las grúas.

En la colocación o montaje es necesario tener información técnica de la ubicación del elemento, número de piezas y dimensiones; los elementos deben ser montados a nivel, plomo, escuadra y se alinearán a las juntas verticales y horizontales. El anclaje es la unión mecánica entre el panel y la estructura que lo soporta. En el montaje se colocan las partes de los anclajes que se fijan a los de la estructura para amarrar o ajustar con los anclajes embebidos en el concreto del prefabricado.

El sellado es muy importante ya que las juntas deben cumplir las exigencias que se piden en la fachada, permitiendo cambios dimensionales debido a las oscilaciones de temperaturas o movimientos, así como absorber las diferencias toleradas en los paneles, las juntas deben ir de 1.5 a 2.00 cms. En esta etapa se lleva a cabo el resane, calafateo y limpieza, llevado a cabo por personal con habilidad y experiencia ya que es necesario igualar el color del resane con su área circundante y la adherencia correcta entre la pasta fresca y el concreto seco. La limpieza al terminar la obra se

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

realizará para eliminar la suciedad de los paneles y manchas que se pudieron ocasionar en el montaje⁴⁸.

El anclaje de los paneles de concreto a la estructura variará en función del elemento estructural al que se ancle, ya que puede ser de concreto de igual forma o a estructura de acero. El diseño de los elementos de anclaje corresponde siempre al diseño de los paneles que conformaran la fachada. Cuando se trata de una estructura de acero el panel queda encajado entre las alas del perfil o soldado a placas de acero. Existen gran cantidad de elementos de fácil montaje como los dentados que se atornillan a rieles de anclaje, rieles con pernos ahogados en el concreto que permiten atornillar los elementos para la sujeción de paneles.

El sistema de anclaje a la estructura dependerá del diseño del elemento prefabricado con respecto a la imagen de la fachada, no se puede decir que exista un solo tipo de anclaje, sino que es la solución que el diseñador le dará de acuerdo al proyecto y a la estructura donde se colocará.

⁴⁸ Jaimes Tórres, M. (2010). *Concretos ligeros aplicados a elementos prefabricados en fachadas arquitectónicas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.

CAPÍTULO III.- Prototipo: Panel Vegetal

3.1 Metodología

Los prefabricados ofrecen una ventaja en la construcción, ya que su colocación en la estructura ofrece menor tiempo en la realización de la obra. Las piezas son construidas en la planta de elaboración de prefabricados y posteriormente llevadas a la obra para el izaje y anclaje, por lo que los tiempos de ejecución deben estar perfectamente coordinados. Para el proceso que requiere la elaboración de un panel prefabricado, se procede a realizar las siguientes acciones.

1.- Seleccionar el material que se empleará para la fabricación del panel, éste será un concreto ligero reforzado con fibra de vidrio para disminuir el peso total del panel.

2.- Considerar la utilización de un aditivo en la matriz que mantenga impermeable el concreto, ya que el sustrato estará en constante humedad y esto podría ocasionar daños al interior de la estructura del mismo panel. Esto deberá consultarse con el fabricante para asegurarse de que no existan conflictos con la mezcla de materiales.

3.- El diseño y dimensiones del elemento constructivos estará sujeto al proyecto del edificio donde se colocará, ya que cada panel será específico para cada obra, por lo que es indispensable la decisión de utilizar o no los precolados desde el inicio del proyecto.

4.- Se hace indispensable que al momento de diseñar el panel, se piense en el molde que recibirá el concreto, que sea accesible en su construcción, ya sea en madera, concreto, acero, yeso o fibra de vidrio.

5.- De acuerdo al diseño de la fachada del edificio y la modulación de su estructura es que se ubicarán los anclajes de amarre tanto en el panel prefabricado como en la estructura, esto para tener una adecuada y correcta coordinar en la colocación.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

6.- En el diseño se incluye el sistema de riego, tomando en consideración las conexiones entre los mismos paneles y las uniones para conectar el sistema en todo el muro de cerramiento. Se debe hacer un cálculo de gasto y presión que requerirá el abastecimiento de agua a los paneles, es necesario acudir a un experto ya que el proyecto hidro-sanitario estará conectado a este mismo.

7.- Es necesario consultar con la empresa que fabricará el prototipo, el diseño del elemento y sus componentes, ya que ellos al tener mayor experiencia en prefabricados, podrán proporcionar información o realizar observaciones del elemento en cuestión, se debe trabajar a la par existiendo una buena comunicación con el fabricante y el proyectista.

8.- Diseñar y planear la forma de traslado de los paneles desde la planta hasta la obra, el tipo de sistema que se utilizará para su montaje y los elementos (tornillos o anclas) que los sujetarán a la estructura de los módulos.

Con lo anterior se da una idea del proceso que se emplea para el diseño de un prefabricado, se debe tomar en cuenta una gran cantidad de especificaciones ya que cada pieza debe embonar perfectamente en la obra y entre ellas. Esta es una de las ventajas del sistema, encajar todas las piezas para que exista una homogeneidad perfecta en el acabado y presentación final de la edificación.

3.2 Diseño y Fabricación de Propuesta

El desarrollo del panel para la propuesta, en primera instancia, como un prototipo burdo y un ejercicio de comprender el término concreto translúcido, se ha realizado un primer ensayo de propuesta (ver imagen 62). Como material para la fabricación del panel, se utilizó concreto portland blanco y gris en dos diferentes capas, así mismo se integraron tiras de PET reciclado para lograr esa translucidez, la matriz del concreto es la misma (cemento, grava, arena y agua), lo que lo hace translúcido son los agregados que tienen la capacidad de conducir la luz (ver imagen 63 y 64).

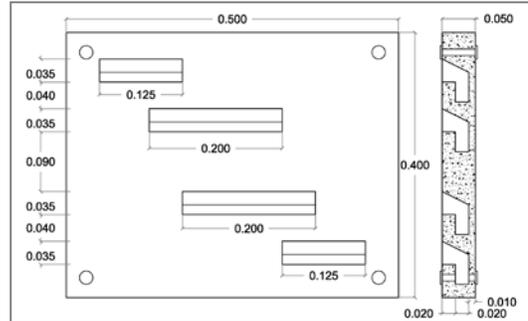


Imagen 62: Plano en alzado del panel primera propuesta.



Imagen 63: Proceso de colado del panel primera propuesta. Fuente: Melissa Gálvez



Imagen 64: Panel vegetal primera propuesta. Fuente: Melissa Gálvez

Posteriormente al fraguado y al pulido del panel, se procedió a medir su impacto ambiental de acuerdo a los materiales usados. Se utilizó el programa BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) para realizar la medición, y así tener la ficha técnica del panel.

Para el análisis se determinó el estudio del material principal que integra el panel: el concreto, cuya matriz es el cemento Portland. Se configuraron las variables principales con una ponderación distribuida equitativamente de los valores de análisis, así mismo la presentación de datos ambientales y económicos tienen un valor de 50% cada una; el valor de la tasa interna de retorno en México es de 4.7; al localizar el cemento portland se estimó una distancia de 100

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

kilómetros, valorando las posibles distancias de obtención y transporte de los materiales para el Distrito Federal. El análisis del cemento portland arrojó los siguientes resultados:

- El desempeño económico presentó que el costo futuro es mucho menor en comparación del primer costo.
- El desempeño ambiental hace evidente que la variable con mayor afectación es la toxicidad humana (cáncer).
- El rendimiento global muestra un equilibrio considerando el 50% asignado a la presentación de datos ambientales y económicos.

El análisis de ciclo de vida presentó daños principales en la etapa de extracción de materiales y en el transporte de ellos; en la extracción se observa un daño mayor en el calentamiento global, en menor medida la acidificación, cáncer en la salud humana, toxicidad ecológica. Esto se ve reflejado en las principales sustancias generadas y deterioro ambiental que producen, tales como: óxido de nitrógeno, óxido de sulfuro; óxido de nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, amonio; cáncer por dioxinas; mercurio, plata y zinc.

Por otro lado, la mayor parte de la energía consumida es la no renovable, sin embargo la energía renovable tiene una participación del 23%.

Se han buscado materiales alternos que sean amigables con el medio ambiente y además sean económicos, para que la propuesta sea un producto sustentable que ofrezca beneficios y proporcione mayores ventajas de utilización por encima de los materiales ya existentes. Además de los materiales a utilizar en su fabricación, se deberá pensar en varios aspectos como son: anclaje a la estructura y entre ellos mismos, la ventilación e iluminación al interior del espacio, el riego, dimensiones adecuadas para definir los espacios de claro a cubrir. Y definir la aportación particular del panel vegetal.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Lo anterior fue una primera muestra del panel vegetal, sin embargo surgieron aspectos como el peso y dimensiones que no fueron las adecuadas para su fácil manejo y transporte. Por lo que se realizó una segunda propuesta partiendo de la idea general (ver imagen 65).

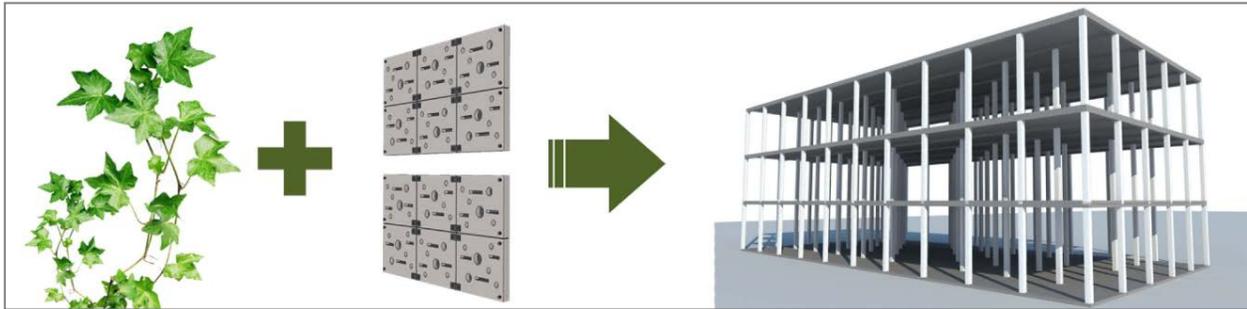


Imagen 65: Idea general de la propuesta del Panel Vegetal: incorporación de vegetación a paneles prefabricados que actuarán como envoltentes de edificaciones.

Perspectiva de la propuesta del panel prefabricado

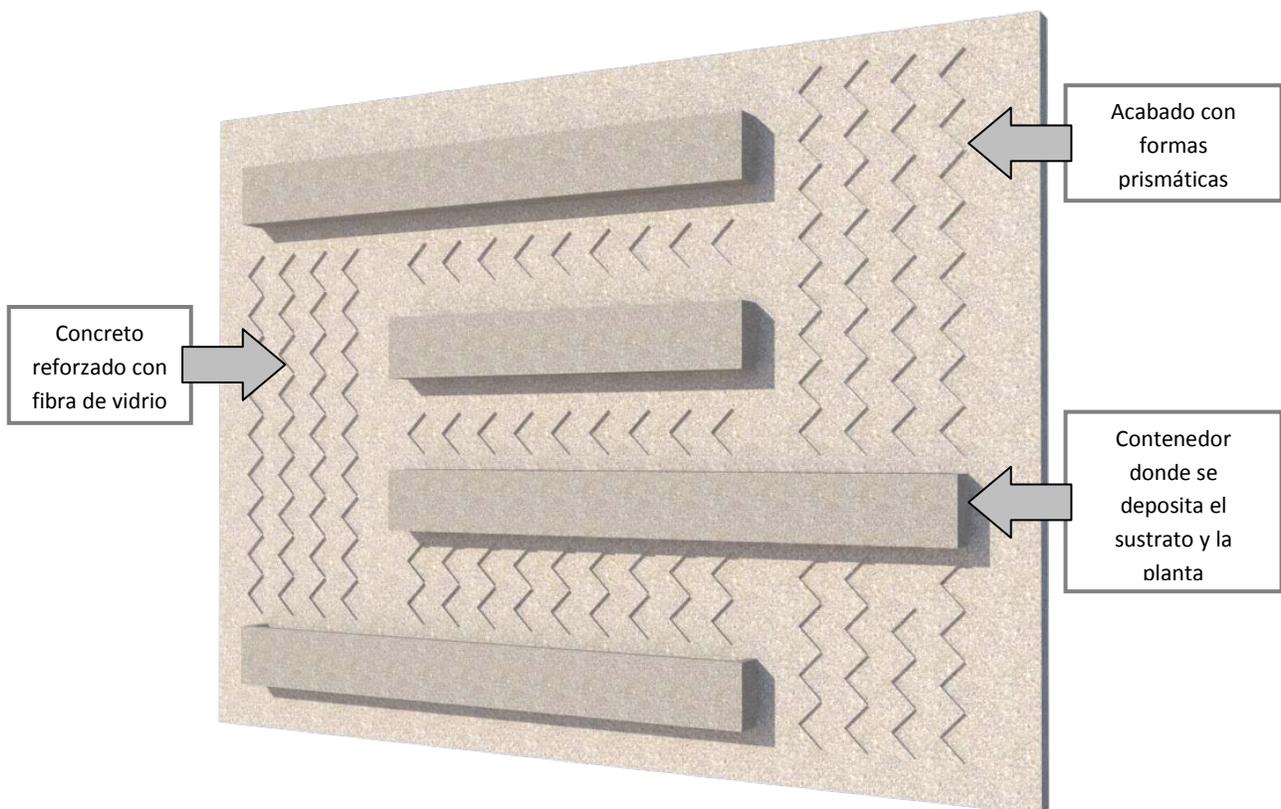


Imagen 66: Diseño de propuesta de panel prefabricado para fachadas vegetales.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

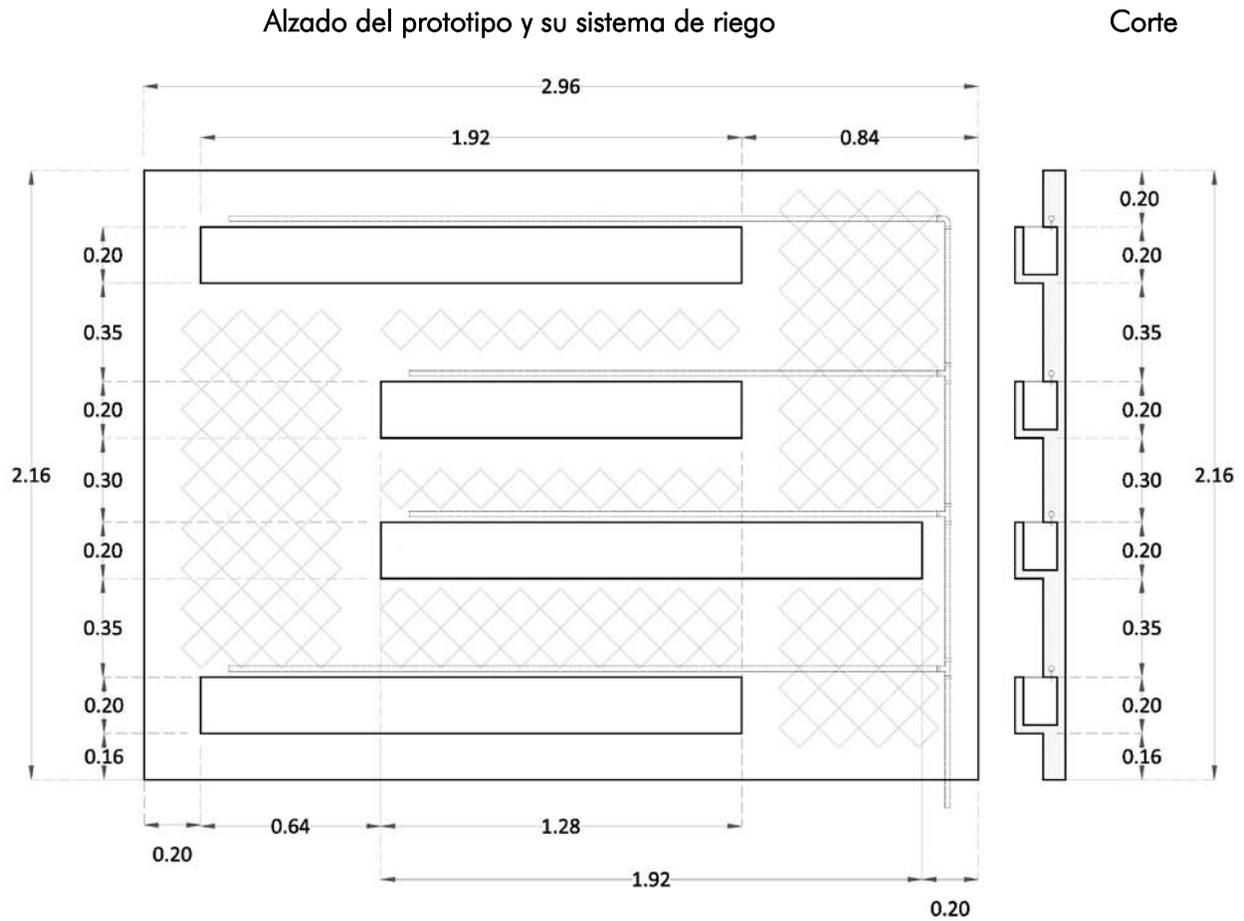


Imagen 67: Alzado y corte de propuesta de panel prefabricado para fachadas vegetales.

Detalle del contenedor

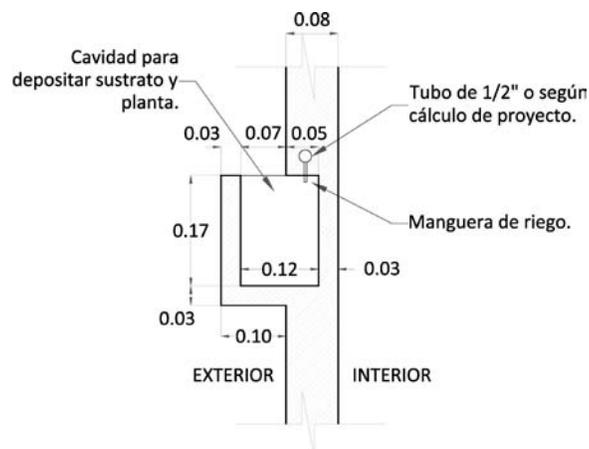


Imagen 68: Detalle de panel prefabricado para fachadas vegetales.

Modelo ficticio para utilización de la propuesta

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Imagen 69: Perspectiva del edificio de Justicia Penal en construcción, Mexicali, B.C. Fuente: Googlemaps.com.mx



Imagen 70: Perspectiva del edificio de Justicia Penal actual, Mexicali, B.C.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Imagen 71: Perspectiva del edificio de Justicia Penal con propuesta de prefabricado, Mexicali, B.C.



Imagen 72: Vista detalle del prefabricado con vegetación.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

En la Tabla 8 se describen las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de muros verdes utilizados en la Ciudad de México y se describe las ventajas que ofrecería la utilización del panel prefabricado GFRC.

Sistema	Ventaja	Desventaja
Contenedores de polipropileno, aluminio o acero inoxidable	<ul style="list-style-type: none"> Las plantas se colocan en los contenedores previa instalación. Mayor facilidad de instalación al muro existente. Permite un ensamblado de piezas para generar formas complejas. La vegetación puede ser reemplazada fácilmente. Espacio adecuado para el sustrato. 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario tener una estructura de soporte para colgar los paneles. De acuerdo a la colocación de los paneles, estos pueden tener problemas al momento de reemplazarlos. Es mayor el peso adosado al muro. Se emplea mayor cantidad de ml en el sistema de riego. Es necesaria una doble inversión para la fachada.
Fibra geotextil	<ul style="list-style-type: none"> Elimina el uso de tierra ya que es un sistema hidropónico. Poco mantenimiento. La vegetación puede ser reemplazada fácilmente. 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesaria la utilización de membranas impermeabilizantes. Si el sistema de riego no está correctamente calculado, las plantas mueren a falta de agua. Indispensable la estructura metálica anclada al muro para que sirva de soporte. La fibra geotextil presenta elongaciones por el peso de la planta y se debe tener un mantenimiento continuo. Es necesaria una doble inversión para la fachada.
Por medio de cables, mallas o varillas	<ul style="list-style-type: none"> Las plantas están directamente colocadas en el suelo o recipientes con tierra natural. Permite en libre crecimiento de la planta. Permite que cubran una mayor cantidad de superficie. No se necesita de una membrana impermeabilizante. Requiere poco o nada de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> El crecimiento es tardío por lo que el muro vegetal requiere de mayor tiempo para generarse. Si no existe un buen manejo de los cables, el aspecto de fachada puede ser no agradable. Es necesaria una doble inversión para la fachada.
Panel prefabricado GFRC	<ul style="list-style-type: none"> Ahorro en la doble inversión. Amigable con el medio ambiente. Fácil y rápida instalación. Es un muro verde constructivo y no un recubrimiento. Las plantas pueden ser colocadas desde antes de su montaje. Poco peso añadido a la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> Es necesario crear una gran cantidad de prefabricados para que no se eleve el costo. El diseño del sistema de riego debe ser planeado y ejecutado antes del montaje. El diseño de despiece y ubicación de piezas debe ser muy preciso.

Tabla 8. Descripción de ventajas y desventajas de los sistemas de muros verdes.

En la Tabla 9 se muestra el costo por m² de los muros verdes que ofrece el mercado en la Ciudad de México. El costo incluye desde revisión del muro de soporte hasta garantía de dos a seis meses después de la instalación completa, cubriendo un cambio del 10% de las plantas introducidas en la primera instalación. Así mismo, incluye el diseño y paleta vegetal, mantenimiento para poda, corte y aplicación de insecticidas. En algunas empresas es opcional contratar la instalación del

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

sistema de riego con la misma compañía, por lo que existen deficiencias y alta mortandad de plantas en los muros verdes, ya que no existe un cálculo específico para cada caso en particular y se desconoce de los requerimientos de cada planta.

COMPARATIVA ECONÓMICA DE LOS DIFERENTES SISTEMAS OFRECIDOS EN EL MERCADO						
Empresa	Aspectos extras del Muro Verde	Impermeabilizante	Estructura	Sistema de riego	Material de soporte	Costo por m2
Taller Verde	Sistema modular.	No es necesario.	Bastidor metálico o estructura autosoportante.	Riego automatizado.	Tecnología GLTi. Paneles de 12" o 24" de aluminio o acero inoxidable.	\$6,063
Zona Verde Mx.	Sustratos a base de tepujal, tezontle, agrolita y humus.	Membrana impermeable a base de reciclaje de botellas PET.	Bastidor metálico o estructura autosoportante.	Riego por goteo automatizado. Sistema de captación pluvial, limpieza y reuso de agua.	Geotextil.	\$5,000 - 7,000
Vertical Jardín	Iluminación óptima. Sistema de riego que reduce el porcentaje de muerte en las plantas.	Control de humedad respondiendo al diseño determinado acorde al espacio designado.	De la mejor calidad para dar soporte al diseño determinado acorde al espacio designado.	Automatizado y diseñado a las necesidades de la paleta seleccionada, gasto y ventanas de riego controlado.	Sistema integral acorde al diseño y funcionalidad.	\$ 4,400 – 4,800
Verde Plakarq	Sistema modular.	Módulos de coroplast de 0.90x1.20m	De madera.	Por goteo automatizado.	Maceteros de polipropileno.	\$3,750
Verde 360	Técnica hidropónica, aplicación de nutrientes al tanque de agua.	Paneles plásticos reciclados	Bastidor a base de perfil galvanizado 1x2"	Riego automatizado con recuperación por medio de canalones al pie del muro vegetal y tanque.	Dos capas de membranas textiles reciclados.	\$3,623
Paneles verdes	Sistema modular.	No es necesario.	Se atornilla al muro directamente.	Riego automatizado.	Panel hecho a base de polipropileno 100% reciclado.	\$3,400
Regenera Mx.	Sistema modular. Sustrato aligerado agrolita.	No es necesario.	Perfil de acero galvanizado para fijación.	Riego automatizado. Capacidad de almacenamiento de 1.6 litros de agua pluvial.	Ecomaceta hecho a base de polipropileno 100% reciclado.	\$3,100
Generación Verde	Sustrato hidropónico.	Capa plástica de material reciclado	Bastidor metálico o estructura autosoportante.	Riego automatizado con recuperación por medio de canalones al pie del muro vegetal y tanque.	Dos capas de geotextil.	\$2,530

Tabla 9. Comparativa económica de las diferentes empresas en el mercado.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

La inversión que se realiza para crear un muro verde se puede observar que es costosa, a esto le agregamos el costo de la construcción del muro y nos percatamos que porcentaje se incrementa. Al realizar una comparativa económica de la construcción de muros de material convencional nos encontramos que el muro de tabique rojo representa solo un 15% del costo en comparación con el prefabricado, y un 34% el panel de cemento. Se observa que el costo del prefabricado se eleva 5 veces más al material tradicional, sin embargo al agregarle el costo de la inversión en un muro verde, observamos que el costo es mayor que el prefabricado. Por lo que en resumen, la inversión en la construcción de un muro verde con prefabricados es menos costosa que la normal en donde se trata de un adosamiento al muro construido.

COMPARATIVA ECONÓMICA DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS			
Material	Concepto	Unidad	Costo
Tabique Rojo	Muro de tabique rojo recocido de 7 cm de espesor, una cara aparente.	m ²	\$ 205.34
	Aplanado fino con llana metálica en muros, con mortero cemento arena en proporción de 1:6, de 2.0 cm de espesor, incluye el repellado.	m ²	\$ 92.73
	Suministro y aplicación de pintura vinílica acrílica en aplanado serroteado, previa preparación de la superficie con sellador vinílico.	m ²	\$ 49.77
		Total=	\$ 347.84
Block	Muro de block de concreto liso ligero de 15 cm de espesor, con refuerzo horizontal a cada dos hiladas.	m ²	\$ 280.03
	Aplanado fino con llana metálica en muros, con mortero cemento arena en proporción de 1:6, de 2.0 cm de espesor, incluye el repellado.	m ²	\$ 92.73
	Suministro y aplicación de pintura vinílica acrílica en aplanado serroteado, previa preparación de la superficie con sellador vinílico.	m ²	\$ 49.77
		Total=	\$ 422.53
Panel de Cemento	Suministro y colocación de panel de cemento de 13mm de espesor, para muro, acabado dos caras, con bastidor a base de canal y poste de lámina calibre 26, de 64mm a cada 60 cm.	m ²	\$ 625.84
	Aplanado fino con llana metálica en muros, con mortero cemento arena en proporción de 1:6, de 2.0 cm de espesor, incluye el repellado.	m ²	\$ 92.73
	Suministro y aplicación de pintura vinílica acrílica en aplanado serroteado, previa preparación de la superficie con sellador vinílico.	m ²	\$ 49.77
		Total=	\$ 768.34
Prefabricado	Fabricación de precolado, incluye elaboración de concreto ligero reforzado con fibra de vidrio de 8cms de espesor, tubería para sistema de riego, pasta para acabado según diseño, orejas de izaje, montenes.	m ²	\$ 1,205.64
	Transporte de precolado a obra.	m ²	\$ 92.38
	Montaje de precolado con grúa.	pza	\$ 114.19
	Montaje a estructura.	pza	\$ 84.48
	Lavado de precolados.	m ²	\$ 45.11
		Total=	\$ 2,241.80

Tabla 10. Comparativa económica de las diferentes empresas en el mercado.

CAPÍTULO IV.- Modelo de Experimentación

4.1 Ubicación

4.1.1. Instituto de Geofísica.

En el desarrollo del primer experimento el espacio designado por efectos de accesibilidad y contacto directo con la medición de parámetros de radiación solar y meteorológica, es la azotea del Observatorio de Radiación Solar en el Instituto de Geofísica (ver imagen 73) de la Universidad Nacional Autónoma de México, ubicada en Ciudad Universitaria (ver imagen 74) de la Delegación Coyoacán de la Ciudad de México.



Imagen 73: Vista aérea de la ubicación del Instituto de Geofísica de la UNAM. Fuente: Google Earth.

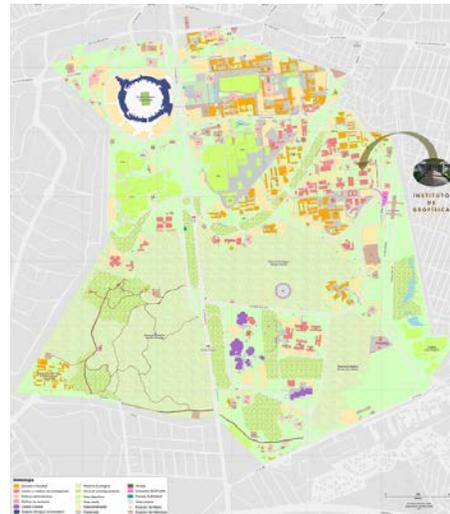


Imagen 74: Ubicación del Instituto de Geofísica de la UNAM. Fuente: Instituto de Geografía de la UNAM.

Los datos meteorológicos fueron proporcionados por el mismo Observatorio, así como los datos de radiación solar (ver anexo 1) que corresponden a los días de medición de los diferentes experimentos.

4.1.2. Unidad de Posgrados.

El segundo experimento se decidió desarrollarlo en la azotea del edificio de Unidad de Posgrados ubicado en la zona del Centro Cultural de la UNAM (ver imagen 75 y 76). En este experimento se tomaron las mediciones de temperatura y humedad relativa en espacios interiores. Debido a la naturaleza del propio experimento y espacio que se necesitaba fue preciso llevarlo a cabo en esta parte sur de Ciudad Universitaria.

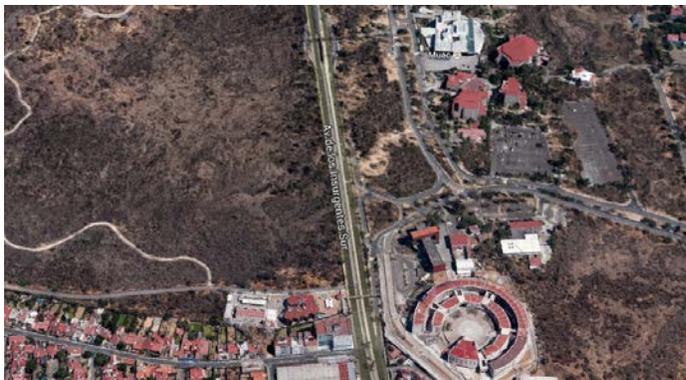


Imagen 75: Vista aérea de la ubicación de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM. Fuente: Google Maps.



Imagen 76: Vista del área de montaje del experimento en azotea de la Unidad de Posgrados.

Para realizar la comparativa de diferencia de temperaturas entre el exterior e interior en el desarrollo de este segundo experimento, también se solicitaron los datos meteorológicos al Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica, así como los datos de radiación solar (ver anexo 2).

4.2 Descripción del Sitio

Coyoacán es una de las 16 delegaciones que conforman el Distrito Federal y se encuentra ubicado justo al centro geográfico de la ciudad; al norte colinda con la delegación Benito Juárez; al este con Iztapalapa; al sureste con Xochimilco; al sur con la delegación Tlalpan y al oeste con Álvaro Obregón (ver imagen 77). Tiene una superficie de 54.4 Km² y representa un 3.6% del territorio capitalino, la mayor parte de la delegación se encuentra a una altitud de 2,240 metros sobre el nivel del mar. El clima que se registra es de 17.2° media anual, con una máxima de 24.7°C y una mínima de 9.5°C, así mismo presenta una precipitación de 817.1 mm anuales.



Imagen 77: Ubicación de la delegación Coyoacán en el Distrito Federal. Fuente: Página oficial de la delegación. <http://www.coyoacan.df.gob.mx/>

Ciudad Universitaria está localizada en la parte oeste de la delegación a una altitud de 2,307 msnm. El Instituto de Geofísica se ubica aproximadamente en la latitud 19°19'33"N y una longitud de 99°10'33"O. La azotea se encuentra rodeada de árboles de una altura considerable contribuyendo con una mayor humedad en el ambiente, por lo que el clima en sensación térmica, suele ser agradable durante la mayor parte del día (ver imagen 78 y 79).



Imagen 78: Vista aérea de la azotea del Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica de la UNAM. Fuente: Google maps.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Imagen 79: Vista panorámica de 180° del Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica de la UNAM. Orientación sur.

Por otro lado, la Unidad de Posgrado se localiza aproximadamente en la latitud $19^{\circ}18'35.82''N$, longitud $99^{\circ}11'7.52''O$, en la parte sur de Ciudad Universitaria. Al contrario de la azotea del Instituto, ésta se encuentra completamente libre de árboles (ver imagen 80) por lo que el viento llega con mayor fuerza, sin embargo, la sensación térmica es mucho más alta debido al albedo que se genera por los materiales de la superficie en la azotea (ver imagen 81 y 82).



Imagen 80: Vista aérea de la azotea de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM. Fuente: Google maps.



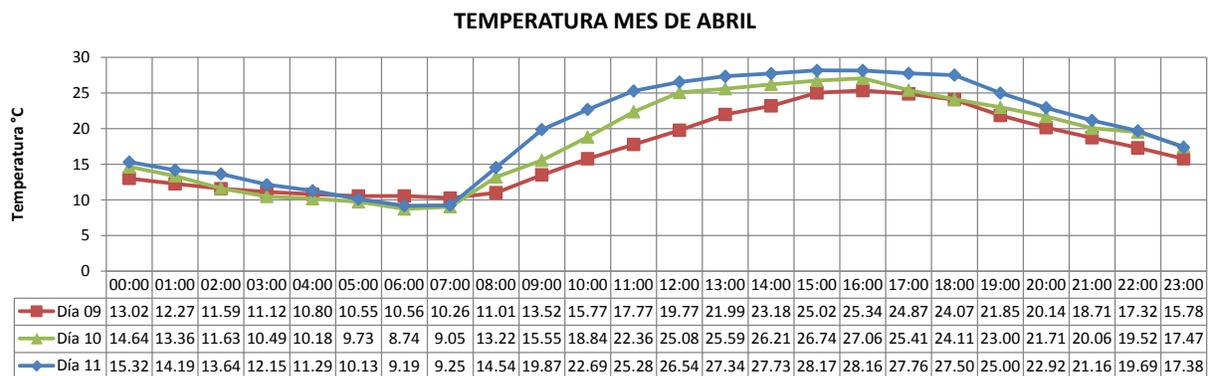
Imagen 81: Vista este de la azotea de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM. Fuente: Aleiandra Padilla.



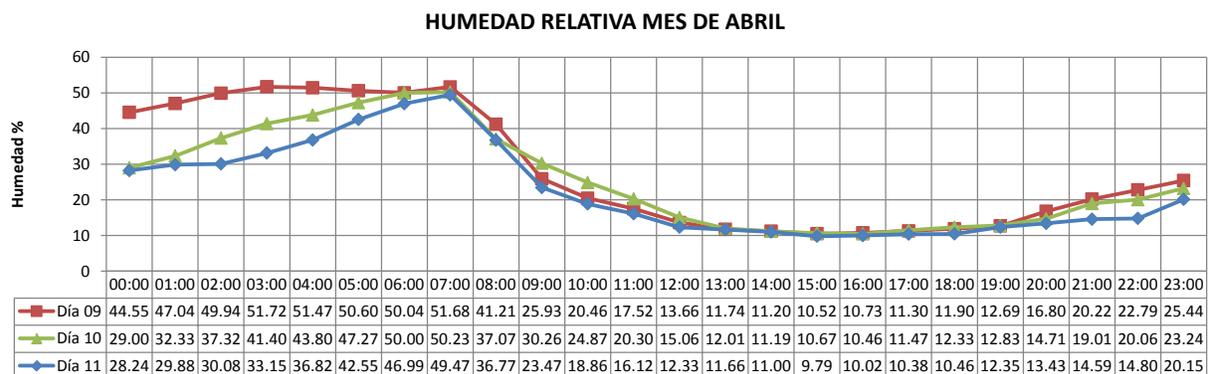
Imagen 82: Vista de la azotea de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM. Fuente: Aleiandra Padilla.

4.3 Características Climáticas del Sitio

En el sitio se recabaron datos de temperatura y humedad relativa los días 9,10 y 11 de abril de 2014. El comportamiento climático de la zona muestra que la hora más cálida durante el día es entre las 15:00 y 16:00 h presentando la temperatura más alta de 28.16 °C el día 11 (ver gráfica 1), por consiguiente la humedad relativa más baja es entre las 15:00 y 16:00 h mostrando una mínima de 9.79% el día 11 de abril (ver gráfica 2). Se puede observar que el comportamiento climático fue relativamente parecido durante los tres días del experimento núm. 1.



Gráfica 1. Temperaturas registradas a cada hora en los días de experimentación, mes de abril.

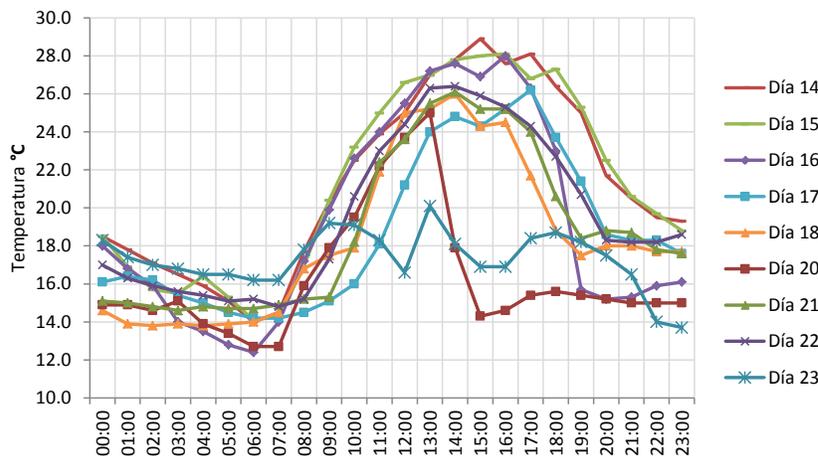


Gráfica 2. Humedad relativa registradas a cada hora en los días de experimentación, mes de abril.

HORA	TEMPERATURA °C JUNIO 2014								
	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23
00:00	18.5	18.5	18.0	16.1	14.6	14.9	15.1	17.0	18.3
01:00	17.8	16.9	16.8	16.4	13.9	14.9	15.0	16.3	17.4
02:00	17.1	15.7	15.9	16.2	13.8	14.6	14.8	15.9	17.0
03:00	16.5	15.5	14.0	15.4	13.9	15.1	14.6	15.6	16.8
04:00	15.9	16.4	13.5	15.0	13.8	13.9	14.8	15.4	16.5
05:00	15.1	15.3	12.8	14.5	13.9	13.4	14.7	15.1	16.5
06:00	14.0	14.1	12.4	14.2	14.0	12.7	14.7	15.2	16.2
07:00	14.5	14.3	14.0	14.2	14.5	12.7	14.9	14.8	16.2
08:00	17.7	16.9	17.2	14.5	16.8	15.9	15.2	15.2	17.8
09:00	20.3	20.4	19.9	15.1	17.5	17.9	15.3	17.3	19.2
10:00	22.5	23.2	22.6	16.0	17.9	19.5	18.2	20.6	19.1
11:00	23.9	25.0	24.0	18.1	21.9	22.2	22.4	23.0	18.3
12:00	25.0	26.6	25.5	21.2	25.0	23.7	23.6	24.4	16.6
13:00	27.0	27.0	27.2	24.0	25.2	25.0	25.5	26.3	20.1
14:00	27.8	27.8	27.6	24.8	26.0	17.9	26.1	26.4	18.1
15:00	28.9	28.0	26.9	24.3	24.3	14.3	25.2	25.9	16.9
16:00	27.6	28.1	28.0	25.2	24.5	14.6	25.2	25.3	16.9
17:00	28.1	26.8	26.3	26.2	21.7	15.4	24.0	24.3	18.4
18:00	26.4	27.3	23.0	23.7	18.8	15.6	20.6	22.7	18.7
19:00	25.0	25.3	15.7	21.4	17.5	15.4	18.4	20.7	18.2
20:00	21.7	22.5	15.2	18.6	18.0	15.2	18.8	18.3	17.5
21:00	20.5	20.6	15.3	18.3	18.0	15.0	18.7	18.2	16.5
22:00	19.5	19.7	15.9	18.3	17.7	15.0	17.8	18.2	14.0
23:00	19.3	18.8	16.1	17.6	17.7	15.0	17.6	18.6	13.7

Tabla 11. Temperaturas registradas a cada hora en los días de experimentación, mes de junio.

TEMPERATURA MES DE JUNIO



Gráfica 3. Temperaturas diarias de la zona de estudio, mes de junio. Fuente: Areli González, 2014.

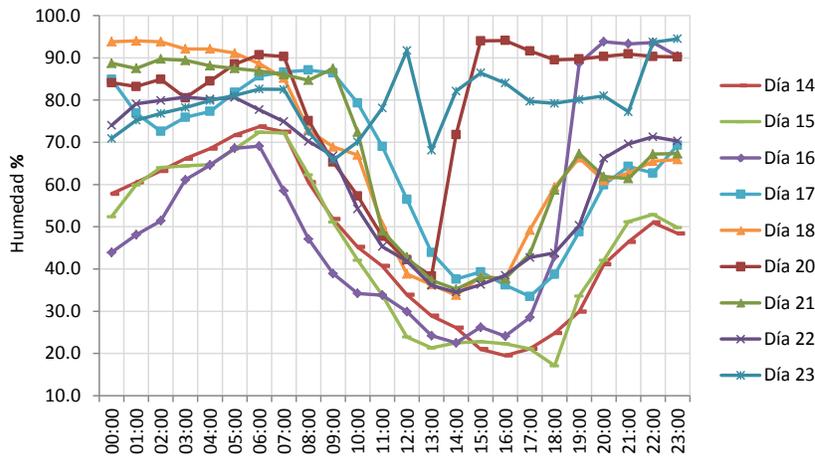
Los datos de temperatura máxima que proporcionó el Observatorio (Tabla 11) durante doce días en el mes de junio muestran una fluctuación de 8.8°C, se puede observar en la gráfica 3 que la temperatura más alta en esos días fue de 28.9°C a las 15:00 h, analizando el registro de datos, obtenemos que los días más cálidos fueron durante los primeros cuatro, posteriormente la temperatura fue disminuyendo hasta llegar a los 20.1°C a las 13:00 h y finalmente se obtuvo una ganancia de 5.4°C el último día de medición.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

HORA	HUMEDAD RELATIVA % JUNIO 2014								
	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23
00:00	57.8	52.4	43.9	84.9	93.8	84.1	88.7	74.0	70.9
01:00	60.5	59.9	48.1	76.9	94.0	83.2	87.5	79.1	75.2
02:00	63.2	64.0	51.4	72.6	93.8	84.9	89.7	79.9	76.8
03:00	66.1	64.4	61.1	75.9	92.1	80.5	89.4	80.7	78.2
04:00	68.5	64.7	64.6	77.3	92.1	84.5	88.1	80.2	79.9
05:00	71.7	68.4	68.6	81.8	91.1	88.5	87.5	80.6	81.1
06:00	73.7	72.4	69.1	85.7	88.6	90.7	86.9	77.7	82.6
07:00	72.5	72.2	58.5	86.6	85.2	90.3	86.0	74.9	82.5
08:00	60.5	62.3	47.1	87.1	72.9	75.1	84.7	70.2	72.5
09:00	51.8	51.1	38.9	86.4	68.9	65.3	87.5	66.8	65.8
10:00	45.2	42.1	34.2	79.3	67.0	57.3	72.4	54.2	70.1
11:00	40.7	33.8	33.8	69.0	50.5	47.7	49.0	45.3	78.1
12:00	33.9	23.9	29.9	56.5	38.8	42.2	42.8	41.9	91.7
13:00	28.9	21.3	24.2	43.9	36.3	38.3	37.3	36.1	68.1
14:00	26.1	22.5	22.5	37.6	33.8	71.8	35.2	34.5	82.1
15:00	21.0	22.8	26.2	39.3	38.2	94.0	38.0	36.3	86.4
16:00	19.5	22.3	24.1	36.2	37.8	94.1	37.7	38.5	84.0
17:00	21.1	21.1	28.5	33.5	49.2	91.6	43.6	42.7	79.7
18:00	24.8	17.1	43.0	38.7	59.4	89.5	58.7	43.8	79.2
19:00	29.9	33.6	88.7	48.8	66.3	89.7	67.3	50.3	80.1
20:00	41.1	42.1	93.8	59.9	60.9	90.3	61.9	66.2	81.0
21:00	46.4	51.2	93.3	64.3	62.7	90.9	61.4	69.6	77.2
22:00	51.0	52.9	93.6	62.7	65.5	90.3	67.2	71.3	93.7
23:00	48.4	49.8	90.4	69.3	65.9	90.2	67.3	70.3	94.5

Tabla 12. Humedad relativa registradas a cada hora en los días de experimentación. mes de junio.

HUMEDAD RELATIVA MES DE JUNIO

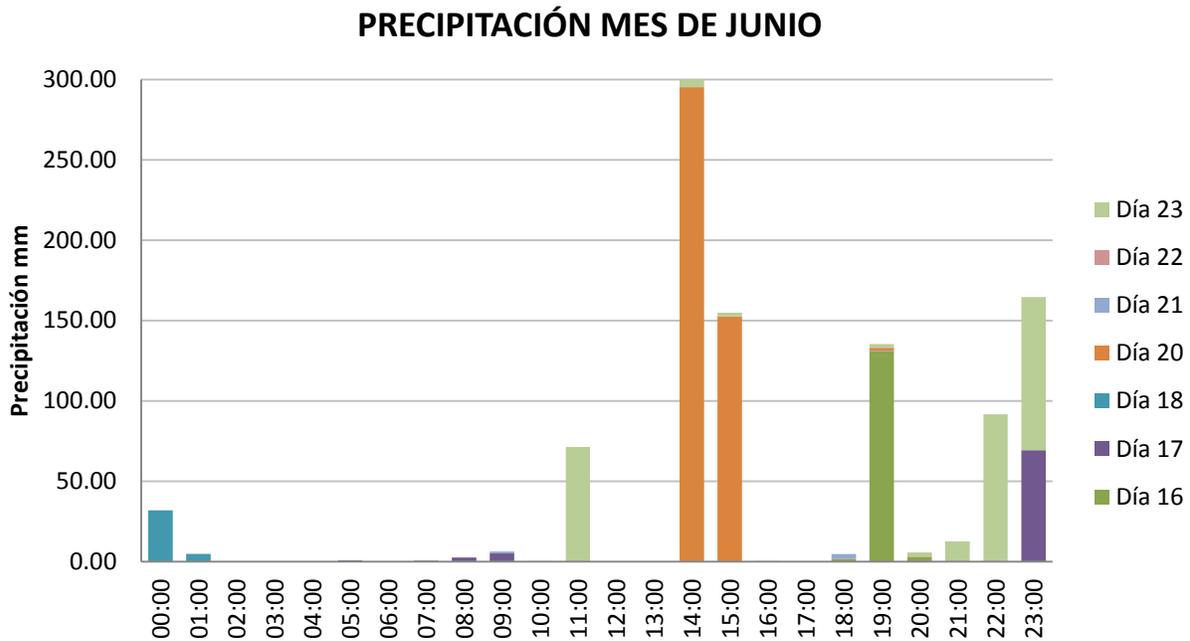


Gráfica 4.- Humedad relativa diaria de la zona de estudio, mes de junio.

Observamos en la Tabla 12 que el comportamiento de la humedad relativa en el área de estudio nos demuestra que los últimos días de medición hubo mínima radiación solar directa, por lo que la medición nos arroja datos altos de humedad en el aire. Por el contrario, se puede observar durante los primeros días de medición que la humedad es significativamente baja en las horas de máxima temperatura (ver gráfica 4). Es entonces que se concluye que el mes de junio tuvo una

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

variación de temperatura ambiental considerable debido a los días nublados y despejados, y que se pudiese ver reflejado en el desarrollo del experimento.

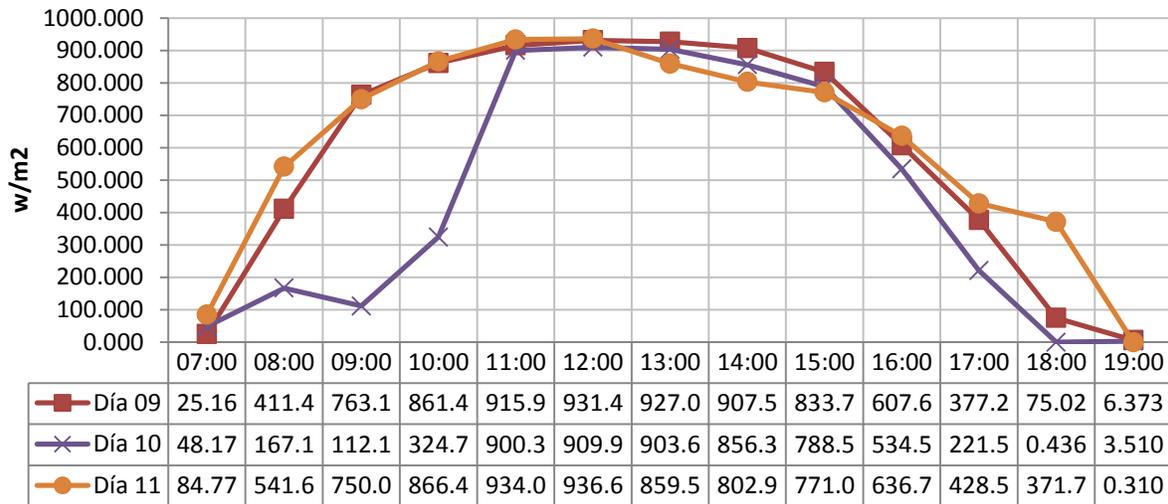


Gráfica 5.- Irradiancia solar directa en los días de experimentación, mes de abril.

En la gráfica 5 se observa que el día 20 de junio fue el de mayor precipitación a las 14:00 horas, si lo comparamos con la temperatura, humedad relativa y radiación solar, se puede concluir que fue el día más crítico, ya que hubo un descenso de temperatura de 7.10°C en cuestión de una hora. Durante ese lapso de tiempo los rayos del sol quedaron obstruidos por la nubosidad que se presentó originando que la humedad aumentara en un 33.5% durante ese día.

No se presenta ninguna gráfica de precipitación de abril ya que en esta temporada no existió precipitación alguna.

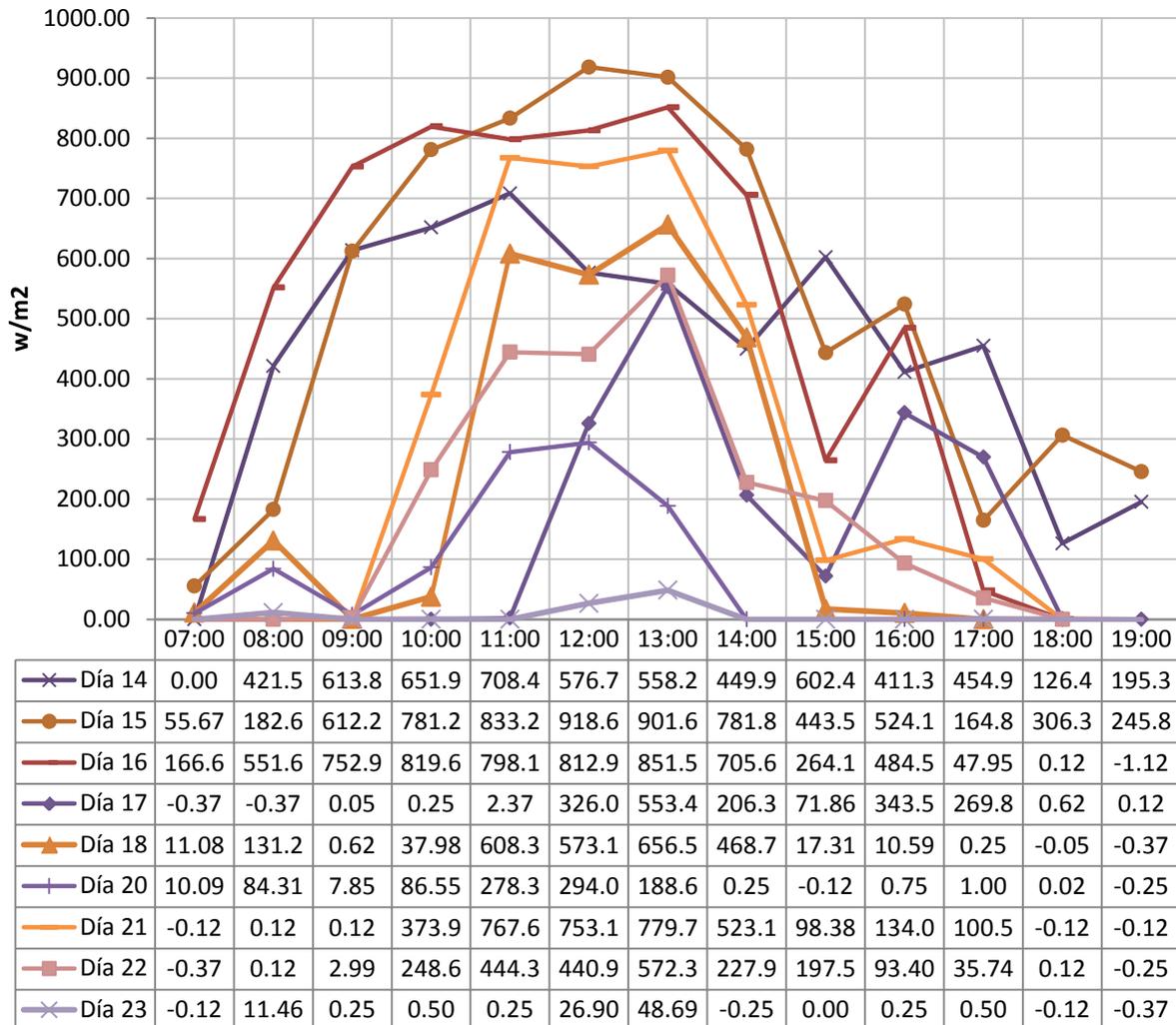
IRRADIANCIA SOLAR DIRECTA MES DE ABRIL



Gráfica 6.- Irradiación solar directa en los días de experimentación, mes de abril.

De acuerdo a los datos aquí mostrados (ver gráfica 6), nos podemos dar cuenta que la irradiación directa solar en los días 9, 10 y 11 del mes de abril, fue continua y limpia, es decir, sin obstrucción alguna de nubosidad. En el desarrollo del primer experimento, fue posible obtener registros de temperatura sobre la superficie de las placas, puesto que los rayos solares llegaron directamente sin ninguna dispersión y con ellos nos dimos cuenta de la temperatura que conservaba la superficie expuesta a diferencia de la superficie sombreada. Los datos de irradiación solar difusa y global se pueden consultar en el anexo 1.

IRRADIANCIA SOLAR DIRECTA MES DE JUNIO



Gráfica 7.- Irradiancia solar directa en los días de experimentación, mes de junio.

Los datos que se registraron en el Observatorio demuestran que a diferencia del mes de abril, los días del mes de junio tuvieron variaciones de irradiancia directa (ver gráfica 7), esto se debió a que hubo alta nubosidad que obstruyeron los rayos directos del Sol, por lo que en el experimento número dos, no se consideró la temperatura de la superficie de las placas, ya que no hubo irradiancia directa continua que pudiesen ser representativos para las mediciones tal como se llevó a cabo en el experimento uno. Los datos de irradiancia solar difusa y global se pueden consultar en el anexo 2.

Cálculo de Zona de Confort Térmico

Se hace el cálculo del rango de confort térmico mensual de la zona donde se encuentra ubicado el módulo de experimentación, ya que de acuerdo a este dato es que se establecerán los límites de confort y posteriormente con las mediciones se realizará una comparativa señalando cuál de ellas está dentro del rango que proporcionan habitabilidad para el ser humano, por ello se realizó el cálculo térmico a través del índice de adaptación de temperatura neutral (Auliciems y De Dear)⁴⁴, quienes realizaron una investigación sobre el confort térmico para establecer niveles de comodidad y satisfacción de los ocupantes del edificio. Para la obtención de estos datos se utilizan los registros de temperatura media mensual del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la estación número 00009020 ubicada en Desv. Alta al Pedregal, Delegación Coyoacán. Una vez teniendo los datos del SMN se procede a aplicar la siguiente ecuación:

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

Dónde:

T_n = temperatura neutra

T_{em} = temperatura media mensual

Al obtener la temperatura neutra T_n , se continúa con el cálculo de la temperatura máxima y mínima de confort, estableciendo en la zona de estudio, el rango de confort térmico al interior de la edificación por cada mes del año, con una amplitud de 5°C, tal como se muestra en la tabla 13.

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

Dónde:

Z_n = zona de confort

T_n = temperatura neutra

Elementos		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
Máxima Extrema	°C	24.0	27.5	29.4	30.3	31.6	29.1	26.0	25.6	25.2	24.9	25.3	23.9	26.9
Máxima	°C	21.7	22.7	25.3	25.7	25.7	24.3	23.0	23.2	22.5	22.5	21.9	21.1	23.3
Media	°C	13.0	14.0	16.2	17.1	17.7	17.5	16.6	16.8	16.5	15.7	14.2	13.1	15.7
Mínima	°C	4.5	5.4	7.0	8.5	9.8	10.7	10.2	10.3	10.4	8.9	6.5	5.1	8.1
Mínima Extrema	°C	1.4	2.1	3.9	5.1	8.1	9.6	9.2	9.2	8.6	7.2	4.5	3.1	6.0
Máxima Confort	°C	24.1	24.4	25.1	25.4	25.6	25.5	25.2	25.3	25.2	25.0	24.5	24.2	25.0
Mínima Confort	°C	19.1	19.4	20.1	20.4	20.6	20.5	20.2	20.3	20.2	20.0	19.5	19.2	20.0
Oscilación	°C	17.2	17.3	18.3	17.2	15.9	13.6	12.8	12.9	12.1	13.6	15.4	16.0	15.2

Tabla 13.- Temperaturas mensuales, de confort y oscilación en la zona de estudio.

⁴⁴ Auliciems, A., De Dear, R. (1997). Thermal adaptation and variable indoor climate control. Advances in Bioclimatology; 5; 61-86 Human Bioclimatology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Estos datos de confort se han obtenido a partir de los datos proporcionados por el SMN, se establece las temperaturas de confort para los espacios interiores con referencia de la temperatura ambiental. Cabe aclarar que este cálculo es solo una herramienta de análisis para establecer un nivel de confort y tener una referencia para definir que las mediciones en el experimento son las adecuadas o no, en términos de confort térmico con la aplicación de la fachada vegetal.

4.4 Metodología del Experimento

La necesidad de incorporar vegetación en las fachadas de edificaciones se hace necesaria más frecuentemente debido a las altas temperaturas que en la ciudad se generan por la isla de calor provocado por la falta de vegetación y el efecto invernadero que la contaminación produce.

Se realizó el experimento núm. 1, en el cual se tomaron mediciones de temperatura superficial de dos placas construidas a base de concreto reforzado con fibra de vidrio; por un lado, se midió la temperatura superficial de la placa sombreada por las plantas; por otro lado, para realizar una comparativa, se tomaron mediciones de otra placa libre de vegetación; de igual forma se recabaron datos de radiación solar (directa, global y difusa) que está llegando directamente a la placa. Lo anterior con el objetivo de evaluar el comportamiento térmico que proporciona la incorporación de vegetación como recubrimiento en paneles prefabricados para fachadas arquitectónicas.

En el experimento núm. 2, se realizaron registros de temperatura interior en dos módulos construidos a base de materiales con alta capacidad de aislamiento térmico. El experimento consistió en cubrir una sola fachada del módulo con las placas de concreto reforzado con fibra de vidrio; a una placa se le cubrió con vegetación, y a otra placa se le dejó descubierta. El estudio consistía en obtener datos del comportamiento en el ambiente interior de cada módulo.

Gracias a los resultados de los experimentos, se obtiene que juntando la tecnología de prefabricados y la técnica de muros verdes, se logra obtener un panel prefabricado con propiedades

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

térmicas y vegetativas para ser implementado en la construcción de fachadas, con ello mejorar las condiciones climáticas interiores y exteriores del espacio, por lo que se puede evitar el uso excesivo de los sistemas de climatización y se reducen las emisiones de gases contaminantes.

4.4.1 Desarrollo Experimento 1

Para la obtención de datos se seleccionaron tres días de medición continua a cada dos horas durante el día, se realizó la toma de datos manualmente con tres diferentes equipos obteniendo lecturas que posteriormente se promediaron logrando una media.

El montaje de las placas de 30x30 cms se llevó a cabo en la azotea del Observatorio de Radiación Solar, orientadas al sur para captar la mayor incidencia solar durante las mediciones (ver imagen 83). Las placas se colocaron sobre una base de madera para que éstas no absorbieran radiación de onda larga que influyera en gran medida con la toma de lecturas térmicas.

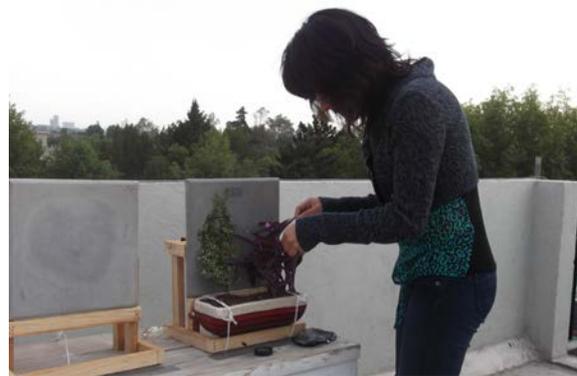


Imagen 83: Colocación de las placas en el Observatorio.

Se colocó un termopar tipo J recubierto de un material aislante en cada una de las superficies de las placas de concreto reforzado con fibra de vidrio para obtener su temperatura (ver imagen 84 Y 85). Se marcaron las superficies correspondientes a cada termopar para hacer más fácil la toma de lecturas.

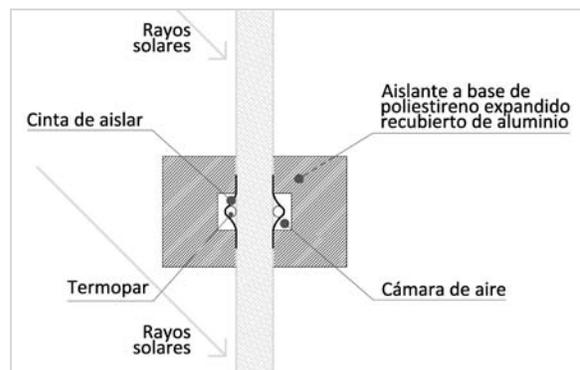


Imagen 84: Detalle de colocación de termopares en la superficie de las placas.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Imagen 85: Colocación de termopares tipo J en la superficie de las placas.

Se colocó en una placa las dos especies de plantas que se seleccionaron anteriormente para el experimento: setcreasea purpúrea y ficus pumila variegata (ver imagen 86), la segunda placa sin vegetación funcionó como referencia para posteriormente hacer una comparativa del comportamiento del prefabricado en presencia de vegetación en su superficie.



Imagen 86: Colocación de las especies previamente seleccionadas.

La toma de mediciones se realizó con tres equipos diferentes, posteriormente se obtuvo un promedio de las temperaturas registradas por cada uno. Los equipos que se utilizaron fueron: termómetro digital (ver imagen 87), termómetro láser (ver imagen 88) y cámara termográfica (ver imagen 89 y 90), proporcionados por el Laboratorio de Interacción con el Medio Ambiente, del Posgrado de Arquitectura.



Imagen 87: Medición con termómetro digital.



Imagen 88: Medición con termómetro láser.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Imagen 89: Medición con cámara termográfica.

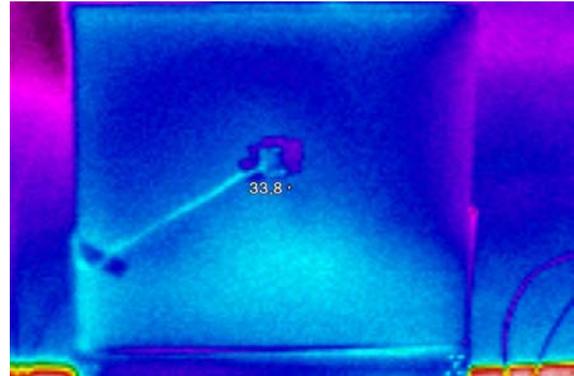


Imagen 90: Imagen tomada por la cámara termográfica.

En la Tabla 14 se muestran los nombres de los equipos que se utilizaron en el experimento núm. 1 y su utilidad.

Instrumentos de Medición

Imagen	Nombre	Mide
	Termopares tipo J, 72" de largo	Temperatura
	Fluke 54 II Thermometer	Temperatura
	Termómetro Infrarrojo, Fluke 62 max	Temperatura puntual
	Cámara termográfica	Calor y cambios de temperatura

Tabla 14: Instrumentos que se utilizaron en la medición del experimento.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Una vez obtenidos los datos de ambas condiciones (con vegetación y sin vegetación) se realizó un promedio de lecturas tomadas con cada uno de los equipo, posteriormente se hizo una comparativa de los índices de medición con gráficas y tablas para obtener resultados que demuestren la eficacia o deficiencia del sistema empleado (ver resultados en el tema 4.5).

4.4.2 Desarrollo Experimento 2

El objetivo principal del desarrollo de éste panel es que sea capaz de reducir la ganancia térmica al interior del edificio durante el día y mantenerse cálido durante la noche conservando un estado ideal en el ambiente interior de los edificios, esto para que el ser humano reduzca la utilización de la tecnología para crear ambientes de confort (refrigeración y calefacción) y con ello detener la liberación de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

En la azotea del edificio de Unidad de Posgrados se hizo el montaje de dos módulos de 0.85 X 0.85 X 0.85 metros, ambos módulos construidos con materiales de baja conductividad térmica, dejando solo un lado abierto para integrar las placas de concreto (ver imagen 91).

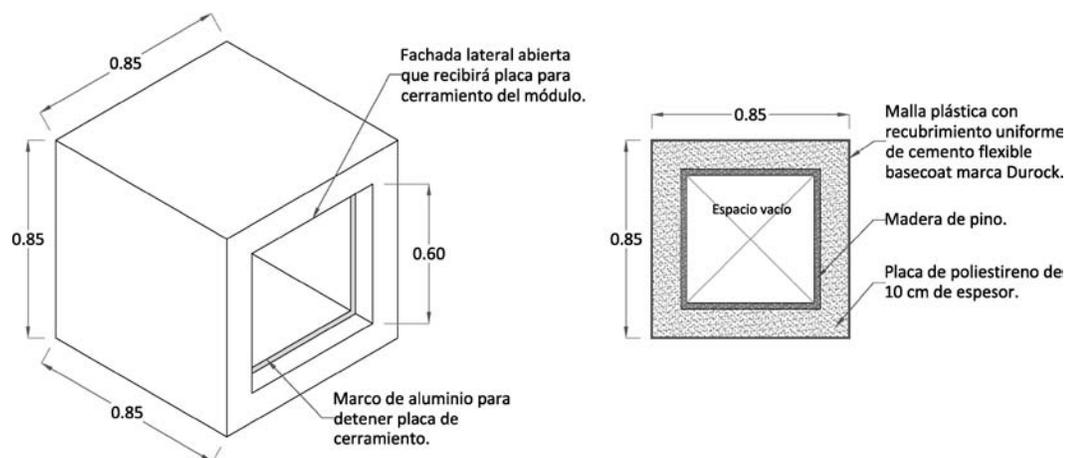


Imagen 91.- Características de los módulos utilizados en el experimento núm 2.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Los módulos se orientaron norte-sur, dejando el único lado expuesto a la radiación solar de cara al sur (ver imagen 92). La línea de orientación se realizó siguiendo el trazo marcado en un experimento anterior con la ayuda de una brújula y una plomada para obtener mayor exactitud. Una vez colocados los módulos se procedió a integrar las placas, no sin antes sellar las aberturas con placas de poliestireno expandido para evitar el paso de calor al interior del espacio y que pudiera intervenir en las mediciones. Se dejó el espacio exacto para cerrar con las placas de concreto y que éstas se pudieran quitar y poner con facilidad.



Imagen 92: Módulo de experimento núm. 2.

Al interior de cada módulo se colocó un registrador de datos marca HOBO (ver imagen 93), para obtener los datos de medición de temperatura interior a cada minuto previa programación durante seis días continuos. Posteriormente se descargarían digitalmente con ayuda del programa del adquisidor de datos.



Imagen 93: Registrador de datos marco HOBO.
Fuente: Laboratorio Interacción con el medio.

Una vez que se sellaron los módulos con las placas de concreto, en uno se colocó la vegetación que se utilizó en el experimento número 1 y en otro módulo se dejó sin vegetación para que actuara de testigo y poder realizar la comparativa de temperaturas (ver imagen 94). Al terminar la medición durante los días programados, se retiraron los Hobos para descargar la información en el programa, observándose datos y comportamientos interesantes al interior de los módulos comparándolos con los datos meteorológicos de los días de junio proporcionados por el Instituto de Geofísica (ver resultados en el tema 4.5).



Imagen 94: Colocación de vegetación en módulo de prueba.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Por otra parte, al terminar los días de medición en el desarrollo del experimento número dos, se decidió hacer una comparativa con dos especies de plantas trepadoras, en un módulo ya se estaba utilizando la especie *ficus pumila variegata*, por lo que en otro módulo se integró la especie *hedera hélix l.* (ver imagen 95). La medición se llevó a cabo de la misma forma, se instaló el adquisidor de datos HOBO en el interior de cada módulo programado para la toma de lecturas a cada minuto. Se sellaron los módulos con las placas de concreto y se colocaron las especies para dar sombra a las mismas. En la tabla 15 se observan las características de las especies trepadoras.



Imagen 95: Medición de temperaturas al interior de los módulos con diferente especie trepadora.

	<p>Hedera Helix L. Dimensión de 5x3 m. Floración inconspicua. Arbusto trepador perennifolio. Textura media.</p>
	<p>Ficus Pumila Variegata. Dimensión de 8x3 m. Floración inconspicua. Arbusto trepador perennifolio. Textura fina.</p>

Tabla 15: Especies vegetales que se utilizaron en la segunda fase del experimento núm, 2.

Posteriormente se hizo la descarga de datos adquiridos y se realizó un promedio para obtener las mediciones de temperatura a cada hora durante seis días. Se observó que la especie *hedera hélix l.* conserva una temperatura más alta al interior del espacio que la especie *ficus pumila variegata*, en comparación con la temperatura exterior también se obtiene un buen comportamiento, ya que mantiene la temperatura en un rango mayor que la temperatura ambiente, y en este caso en donde el mes registró una temperatura baja debido a la nubosidad que presentó durante algunos días, fue conveniente mantener un alto nivel de calor al interior del módulo (ver resultados en el tema 4.5).

La obtención de datos confiables y específicos del clima de la ciudad de México, región sur, incitará que estos sirvan en poca o gran medida a futuras investigaciones, y que sean el punto de partida para nuevos análisis climáticos. Y establecer un referente del comportamiento térmico y ambiental al integrar vegetación específica a las edificaciones en la región, demostrando con datos medibles que la incorporación vegetal ayuda en gran manera a establecer una habitabilidad para el ser humano.

El objetivo general de esta contribución es que el prefabricado con vegetación actúe favorablemente al integrarlo a un edificio como material de construcción, con ello de acuerdo a sus propiedades mejorar las condiciones térmicas al interior de los espacios habitables, y por lo tanto disminuir la utilización de refrigeración y calefacción en los meses críticos de altas y bajas temperaturas.

4.5 Mediciones

Uno de los objetivos en esta investigación es evaluar el comportamiento térmico que proporciona la incorporación de vegetación como recubrimiento en paneles prefabricados (de concreto reforzado con fibra de vidrio) para fachadas arquitectónicas.

4.5.1 Desempeño térmico del prefabricado

Las primeras mediciones se llevaron a cabo en el mes de abril durante los días 9, 10 y 11 del año 2014 en la azotea del Observatorio de Radiación Solar en el Instituto de Geofísica. En la Tabla 16 se muestran los registros de temperaturas superficiales de las placas de concreto reforzados con fibra de vidrio a las 15:00 horas durante tres días de medición.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Lecturas tomadas con diferentes equipos a las 15:00 horas

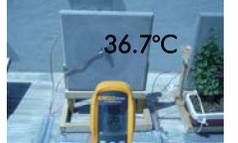
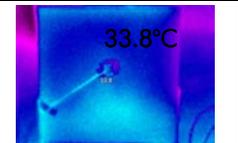
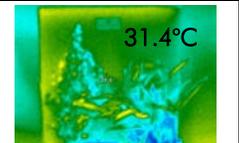
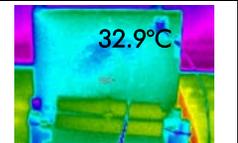
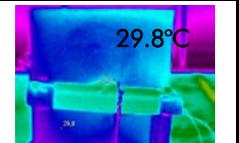
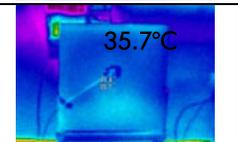
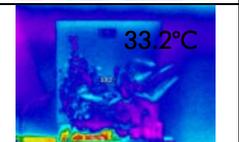
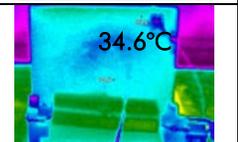
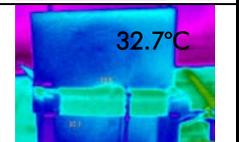
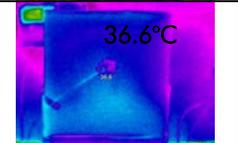
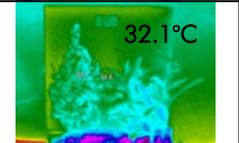
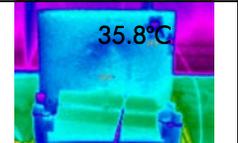
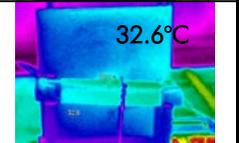
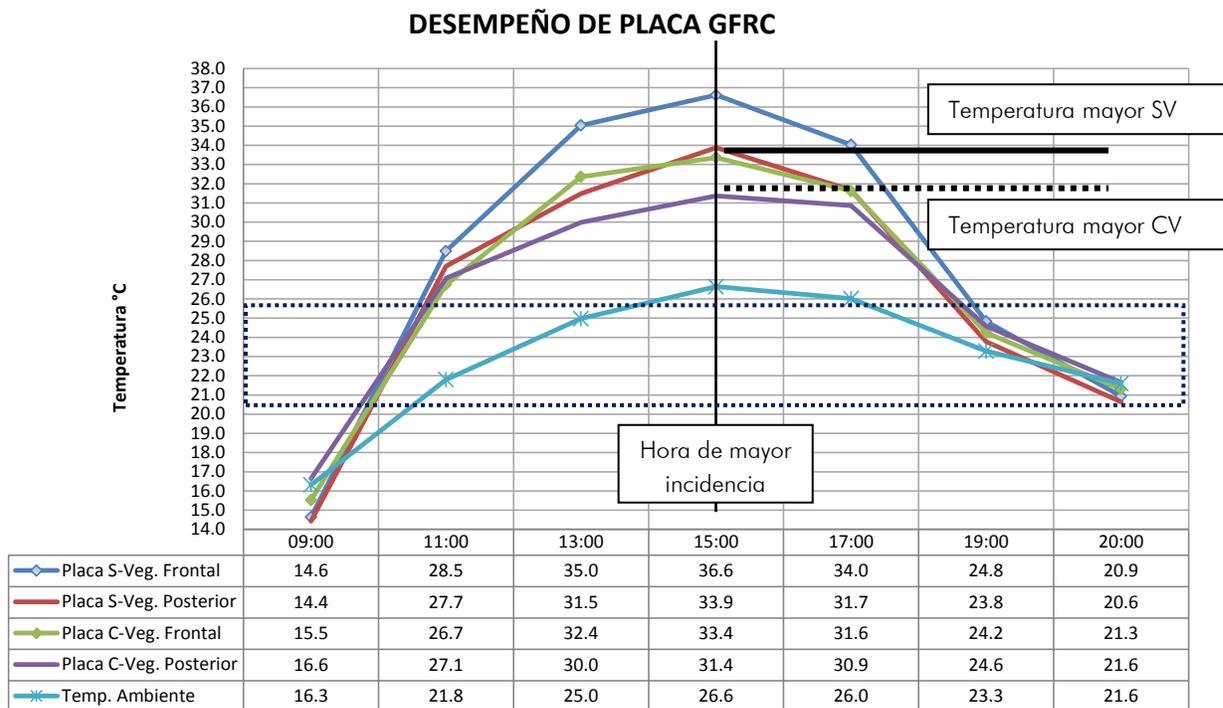
Día	Equipo	Placa Vista Frontal		Placa Vista Posterior	
		Sin Vegetación	Con vegetación	Sin Vegetación	Con Vegetación
09	Termómetro IR				
10					
11					
09	Cámara Termográfica				
10					
11					
09	Termómetro Digital	36.3°C 	32.5°C	33.2°C 	29.8°C
10		37.3°C 	35.2°C	34.0°C 	33.1°C
11		39.9°C 	36.6°C	36.3°C 	33.3°C

Tabla 16: Lecturas tomadas con diferentes equipos de medición de temperatura.

En la Tabla 16 se muestran solamente una hora del día, 15:00 horas, siendo en ella donde se registra la temperatura más alta durante el día. La temperatura que se muestra en la imagen es la temperatura que registró el termómetro IR, la cámara termográfica y el termómetro digital respectivamente en la superficie de cada placa. Ver anexo 3 para lecturas completas.

Concluidas las mediciones de los prefabricados de concreto, se obtuvo la siguiente gráfica.



Gráfica 8.- Desempeño térmico de los prefabricados en los días de abril.

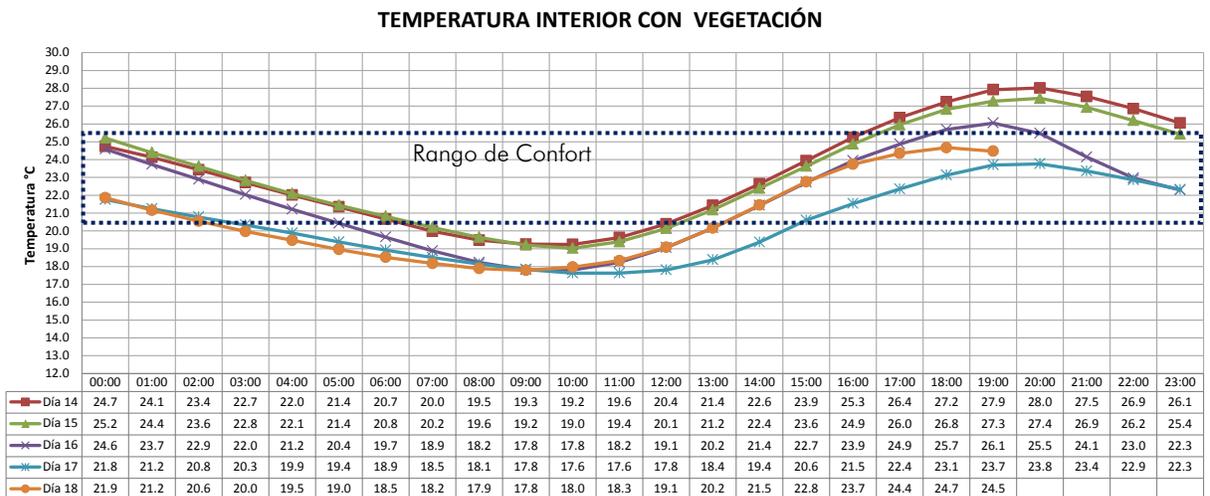
Se puede observar en la gráfica 8 que la absorptancia que tiene la placa de concreto es muy alta en comparación con la temperatura ambiente, la cual se registra de 26.6 °C. Aún así, se logra reducir la temperatura en presencia de vegetación hasta 2.5°C utilizando el material de concreto reforzado con fibra de vidrio.

Así mismo se puede prestar atención que la temperatura registrada en los prefabricados con vegetación por sí solos, sin estar cerrando un espacio, no logra llegar a una temperatura de confort térmico siendo este entre 20.4 y 25.4°C en el mes de abril según el índice de adaptación de

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

temperatura neutra Auliciems y De Dear. Sin embargo cabe aclarar que el rango de confort se da en espacios interiores, y en el experimento solo se realiza en el espacio exterior. Por ello fue indispensable realizar un segundo experimento en un espacio cerrado para comprobar si realmente los prefabricados con vegetación ayudan a mejorar las condiciones térmicas.

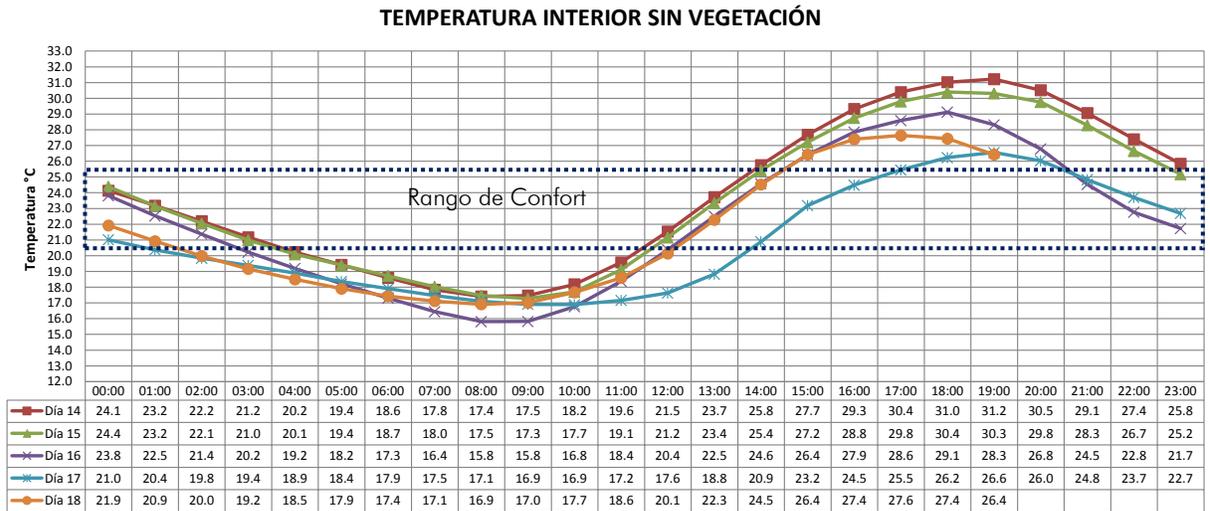
En el segundo experimento se optó por realizarlo en un módulo de prueba y un módulo testigo para conocer la diferencia de temperaturas en un espacio interior. Los días de medición fueron del 14 al 18 de junio, realizando registros a cada minuto, las lecturas posteriormente se promediaron obteniendo una media para tener el valor por cada hora.



Gráfica 9.- Desempeño térmico al interior del módulo utilizando prefabricado y vegetación para cerrar el espacio. Medición en los días de junio.

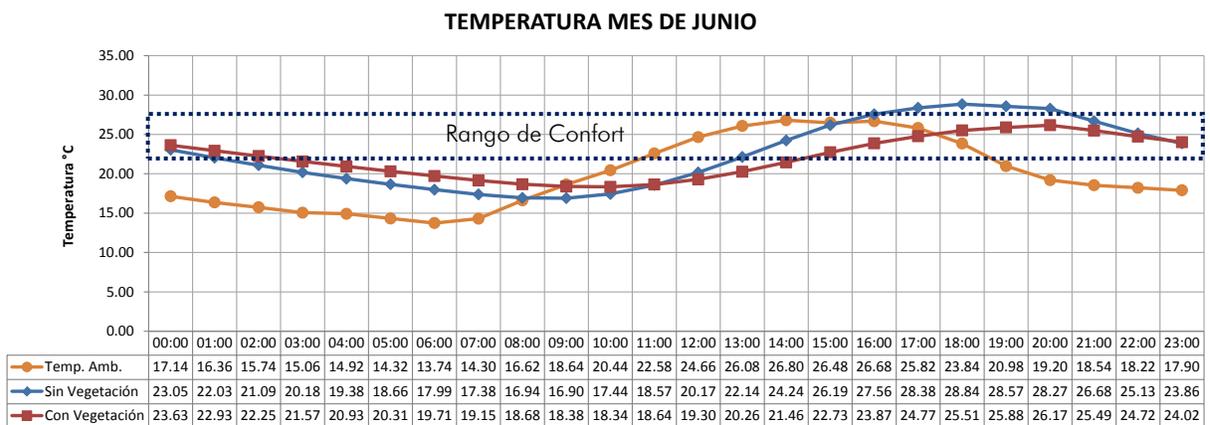
En la gráfica 8 podemos observar que la temperatura máxima interior se da entre las 18:00 y 20:00 hr justo cuando el Sol está por ocultarse, la máxima temperatura que se registró fue de 28.02°C, al contrario de la temperatura mínima interior que se da entre las 9:00 y 11:00 hr con un registro de 17.63°C la mínima, con ello nos podemos dar cuenta que al salir el Sol, el espacio interior no se empieza a calentar, sino que va perdiendo calor durante las primeras cinco horas para posteriormente volver a incrementar su temperatura. Se registra una fluctuación de 10.39°C en el espacio interior con una envolvente a base de un prefabricado de concreto reforzado con fibra de vidrio sombreado con vegetación en su exterior.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Gráfica 10.- Desempeño térmico al interior del módulo utilizando solamente prefabricado para cerrar el espacio. Medición en los días de junio.

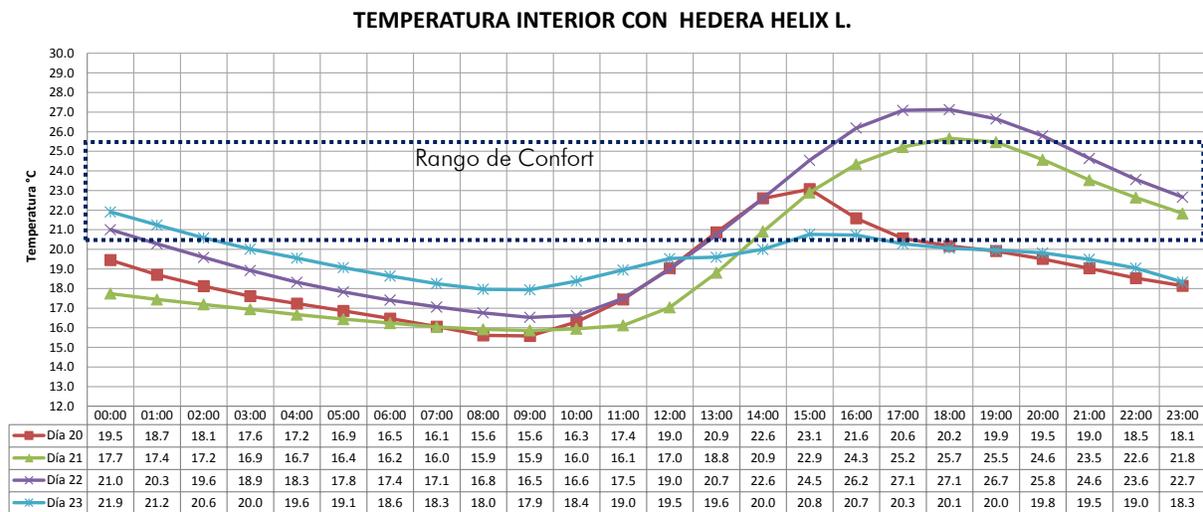
El comportamiento que se generó en el espacio interior del módulo donde no se usó vegetación fue muy diferente en comparación al módulo de prueba. En la gráfica 10 se observa que la temperatura máxima se alcanzó entre las 17:00 y 19:00 hr, llegando a una máxima de 30.31°C, y su mínima se llevó a cabo entre las 8:00 y 10:00 hr, presentando una temperatura de 15.81°C. En este registro se obtuvo una diferencia de 14.5 grados entre la mínima y máxima, siendo mayor su amplitud a diferencia del módulo con vegetación.



Gráfica 11.- Comparativa del comportamiento interior de los módulos.

La gráfica 11 nos muestra el comportamiento de la temperatura interior en los dos módulos, podemos observar que la placa que tenía sombra de vegetación tiene un mejor desarrollo a lo largo de todo el día, a diferencia de la placa sin vegetación, así mismo la línea de la temperatura ambiente nos señala que existió una fluctuación de 13.06°C en los días de medición, en el módulo con vegetación se mantuvo una temperatura estable con solo 7.83°C de rango entre la máxima y mínima, por el contrario del módulo sin vegetación, que alcanzó una amplitud de 11.9°C entre el mínimo y máximo. Con lo anterior podemos observar que el prefabricado con vegetación actúa favorablemente en los espacios interiores para mantener una temperatura estable.

Por otra parte se hizo una medición extra en el experimento núm. 2, en donde se compara el comportamiento térmico en presencia de dos especies de plantas: ficus pumila variegata y hedera hélix l. Cada especie se colocó enfrente de la placa GFRC que cerraba cada módulo, dejando dentro un HOBO para medir la temperatura interior. Los días de medición corresponden del 20 al 23 de junio, registrando datos a cada minuto, posteriormente se promediaron a cada hora.

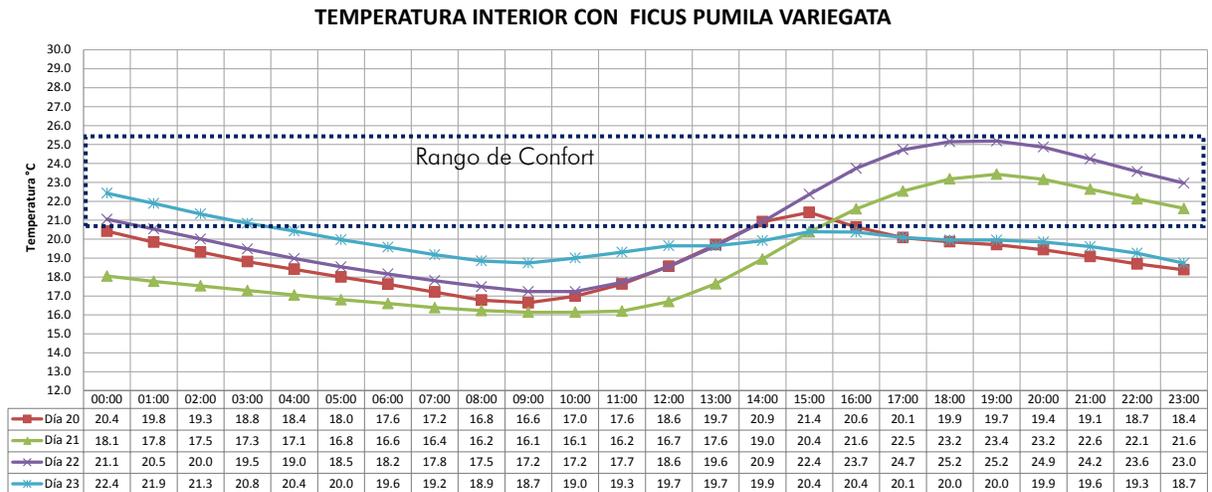


Gráfica 12.- Desempeño térmico al interior del módulo utilizando especie trepadora hedera hélix l.

En la gráfica 12 podemos observar que en los días de medición hubo un fluctuación de 11.5°C, y de acuerdo al cálculo del índice de adaptación solo un día el interior del espacio estuvo en zona de confort durante 11 horas a partir de las 14:00 a 24:00 horas, sin embargo se registra en un

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

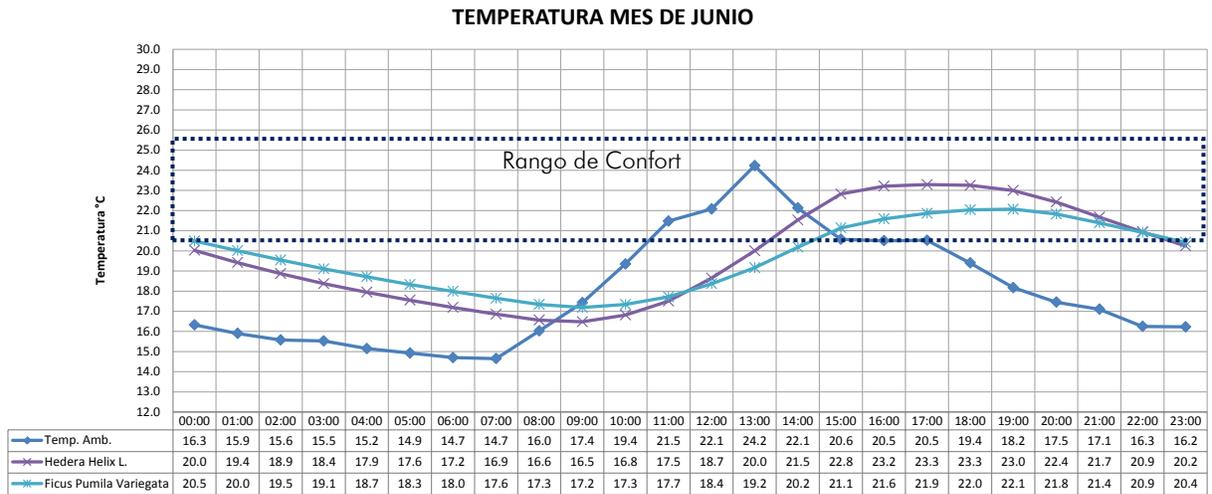
promedio que a partir de las 2:00 hasta las 13:00 horas el espacio interior no alcanzó a llegar a un estado de confort, sino que su temperatura se mantuvo por debajo de los 20.5°C.



Gráfica 13.- Desempeño térmico al interior del módulo utilizando especie trepadora ficus pumila variegata.

Así mismo, la gráfica 13 muestra que en el módulo donde se presentó la especie Ficus Pumila Variegata se registró una fluctuación de 8.6°C siendo un menor rango de amplitud que la especie Hedera Helix L. En su desarrollo se obtuvo que a partir de las 03:00 hasta las 14:00 horas la temperatura se mantiene por debajo del índice de adaptación de la zona de confort, un comportamiento igual a la especie Hedera. Sin embargo se registró que esta especie conserva una temperatura más cercana a la zona de confort, se podría decir que logra una temperatura constante dentro de un rango mínimo.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones



Gráfica 14.- Comparativa del comportamiento interior de los módulos con diferente especie recubriendo la placa prefabricada.

En la gráfica 14 se muestra la comparativa de las dos especies vegetales, se observa que no es mayor la diferencia, pero al contrario de la temperatura ambiente que está por fuera del rango de confort para la zona, las especies vegetales logran actuar en favor de mantener una temperatura agradable en el espacio interior, se logró obtener un resultado favorable en escoger la especie “monedita variegata” en comparación con la “hiedra común” siendo esta última planta la de mayor uso en las edificaciones para recubrimiento de muros.

CONCLUSIONES

La utilización de vegetación en las envolventes verticales, ha sido una técnica empleada desde el origen de la arquitectura, el hombre al conocer las ventajas que ofrecía ésta incorporación vegetal a sus refugios, le proporcionó a la civilización moderna una herramienta, que en la actualidad se ha convertido en un sistema evolucionado, empleado para mejorar las condiciones de habitabilidad tanto en viviendas, como oficinas y comercios.

Hoy en día esos sistemas ya mejorados con nuevas técnicas, se están empleando por todo el mundo y es debido a la creciente preocupación por el cambio climático y los altos índices de contaminación. Ayudar a nuestro planeta se está convirtiendo en una necesidad y es por ello que las fachadas vegetales están teniendo un papel importante en la arquitectura.

Destacando las diversas investigaciones que giran en torno al tema de fachadas y muros verdes, se ha comprobado que su utilización regula la temperatura; disminuyendo la transferencia de calor en verano y manteniendo el calor latente en invierno dentro de las edificaciones.

Los actuales sistemas de muros y fachadas verdes generalmente son muy costosos en su inversión y mantenimiento, elevando el costo económico de la inversión, sin embargo, el tener integrados estos sistemas de naturación eleva la plusvalía del inmueble por lo que se recomienda tener una azotea, fachada o muro verde en éste.

Por otra parte, los prefabricados de fachada son una herramienta que los constructores utilizan para bajar costos, hacer eficiente y mejorar la calidad de los procesos de construcción; así mismo en los diseños de las fachadas verdes este sistema de prefabricados generan un mayor campo de probabilidades para ejecutar.

Al crear un prefabricado pensando en que sea utilizado como fachada vegetal, se desarrolló un nuevo campo, invitando a los diseñadores a que vayan más allá de los materiales tradicionales

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

que se utilizan hasta el momento, como son fibra textil, polipropileno, pvc, entre otros, sino que se empleen materiales que son utilizados para la construcción directa como el concreto.

Con los sistemas prefabricados se diseñó un prototipo de panel prefabricado con ciertos elementos de forma que se pudiera integrar vegetación en su exterior. Con la elección de un concreto ligero reforzado con fibra de vidrio para la elaboración, se obtiene una placa con alta resistencia y rigidez, con las características de poderse adaptar a las geometrías requeridas. Se propone añadir aditivos en la mezcla para obtener un concreto impermeable a la humedad, pero que la contiene en los receptáculos con sustrato de cada planta.

Para la propuesta se adoptaron técnicas de riego por goteo que desarrolló un diseño específico de la distribución de las tuberías para abastecer a cada planta, así como la estructura que el mismo panel debe tener para su colocación en la obra. Es importante en futuras investigaciones llevar a cabo la elaboración del prefabricado y utilizarlo en un espacio habitable, para conocer un comportamiento real de una fachada vegetal con prefabricado GFRC y comprobar si el diseño del sistema de riego fue el adecuado o no y que futuras ventajas o desventajas ofrece.

Queda abierta la posibilidad de experimentar con otros concretos aligerados, con mayores propiedades mecánicas y resistencias a la compresión, que se amolde a nuevos diseños e integre cada uno de los elementos necesarios para un panel vegetal.

Por otra parte, los diversos estudios realizados en torno a las fachadas verdes, arrojan resultados favorables que concluyen que la vegetación mejora el comportamiento térmico en los espacios habitables, ya que actúan como un sistema de aislamiento térmico en verano reduciendo hasta 10°C la temperatura ya que la transferencia de energía en la fachada es menor que con una superficie expuesta.

Con los diferentes sistemas en el mercado presentados en esta investigación, es indispensable realizar un estudio que permita conocer cuáles son los que mejor comportamiento térmico tiene y tiene una mejor factibilidad de uso.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

La toma de mediciones en las placas y del espacio interior de cada experimento arrojó resultados favorables que cumplen con la hipótesis planteada. La temperatura superficial en sombra fue reducida 3.2°C en comparación con la superficie expuesta, por otro lado, al interior del módulo con vegetación presentó 3.33°C menos que la temperatura interior del módulo sin vegetación. Por lo que se concluye que integrar vegetación a prefabricados en la construcción ayuda a favorecer las condiciones climáticas interiores.

Los datos que se midieron en las placas arrojaron temperaturas dentro de los 33.4 y 31.4°C utilizando vegetación en sus superficie, a diferencia de las temperaturas que se elevan hasta 36.6 y 33.9 °C sin vegetación alguna. Así mismo, se encontró que los prefabricados en presencia de vegetación mantienen el calor latente al anochecer, la placa que no tenía vegetación perdió su calor más rápido que la que sí tenía vegetación. Comprobando que en efecto, la utilización de vegetación en la superficie de las fachadas disminuye la conducción de calor en los materiales, por lo que durante el día es poca la absorción térmica y durante la noche es mínima la pérdida.

El comportamiento entre las dos especies vegetales arrojaron que la mejor especie que tuvo un mejor desarrollo fue la *ficus pumila variegata* ya que su temperatura obtuvo un 4.9°C de fluctuación a diferencia de la especie *hedera hélix l.* que fue de 6.8°C. Por lo que entre las especies se puede ver que sus características influyen para un mejor comportamiento térmico en fachadas.

De acuerdo al experimento y las diferencias de las plantas, se estableció que el follaje contribuye a disminuir la carga térmica en el interior del edificio, puesto que los rayos del sol que llegan a las hojas se reflejan y no entran directamente a la fachada, por otra parte, el tamaño de las propias hojas contribuye a que exista un mayor flujo de aire reduciendo la saturación de humedad. Es importante por lo tanto considerar plantas de follaje ventilado en la selección de ellas al momento de naturalizar una fachada.

Existen varios puntos en la investigación que no se llegaron a estudiar por completo, como son: el sustrato, el comportamiento específico de cada especie en un ambiente controlado, como el estar en un reducido espacio y no expandirse en su totalidad. Así mismo intentar crear prototipos con diferentes materiales, ya que solo se experimentó con el concreto, podrían utilizarse otro tipo de

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

materiales como las cerámicas. Así mismo sería una aportación importante el realizar mediciones térmicas con diferentes tipos de plantas trepadoras en un espacio con dimensiones reales de ocupación.

Sin embargo es un punto de partida para nuevos análisis en diseños de prefabricados con vegetación, que sean utilizados directamente en la construcción y no como sistemas de adosamiento que generan doble inversión. Estar integrando vegetación a nuestras edificaciones, no solo contribuye a mejorar la temperatura interior, sino que también aporta beneficios económicos, ecológicos y estéticos, por lo tanto se estará ayudando a tener un medio ambiente más saludable y agradable; un bienestar al planeta no proporcional pero sí cuantificable a todo el daño causado por la mano del hombre.

GLOSARIO

¹Absortancia.- Coeficiente que existe entre la energía solar absorbida y la energía solar incidente sobre una superficie.

Acrilato de Potasio.- Polímero súper absorbente y retentivo del agua. Sustancia química altamente higróscopica, es decir, que absorbe grandes cantidades de humedad.

Aguas Grises.- Son aquellas que provienen del hogar, específicamente de la regadera, lavabos y lavadoras. Su aspecto es turbio.

¹Albedo.- Relación expresada en porcentaje, de la radiación que cualquier superficie refleja comparada con la radiación que incide sobre la misma.

Bastidor.- Estructura de barras madera, metálico o acero que dispuestos en dirección horizontal y vertical forman marcos para sostener materiales de revestimiento.

Calor Latente.- Calor emitido que se manifiesta cuando un líquido pasa a estado de vapor. La evaporación se incrementa si la temperatura exterior aumenta.

Calor Sensible.- Calor emitido que se manifiesta por un calentamiento del aire exterior. Se incrementa la pérdida de calor sensible cuando la temperatura exterior es más baja.

Cerramiento Vegetal.- Se le llama así a la barrera que sirve para delimitar un espacio de otro, ésta va recubierta de vegetación.

Conducción.- Es el intercambio de calor entre dos cuerpos estando en contacto directo, esto se dará cuando exista una diferencia de temperaturas entre ellos.

⁴Confort Térmico.- El estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico.

Convección.- Es el transporte de calor por medio de un fluido ya sea líquido o gas, a zonas con diferentes temperaturas.

Doble Fachada.- Se le llama al sistema donde se emplean dos pieles o envolventes con un espacio intermedio ventilado. Utilizado para crear sistemas de confort al interior de los espacios.

¹Emitancia.- Es la característica que expresa la cantidad de energía electromagnética que un material puede emitir a una determinada temperatura y con determinada longitud de onda.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Envolvente Vegetal.- Cuando se utiliza un sistema de naturación en fachadas o techos, convirtiendo la envolvente vertical y horizontal en espacios verdes.

Evaporación.- Pérdida de calor en forma de vapor, dependiendo la cantidad de agua que exista en la superficie un cuerpo.

Fachadas Vegetales.- Incorporación de plantas mediante un sistema a las fachadas de las edificaciones, éstas generalmente se hacen con un diseño para proporcionar ritmo y color.

Fachadas Verdes.- Incorporación de plantas mediante un sistema a las fachadas de las edificaciones, éstas generalmente se hacen con un diseño para proporcionar ritmo y color.

Fibra Geotextil.- Material sintético formado por fibras poliméricas, similar a una tela y de gran deformidad.

Fluctuación.- Incremento y reducción de manera alternada, oscilación.

Ganancia Térmica.- Cantidad de calor que acumula un cuerpo al ser expuesto a la radiación solar directa.

Gases de Efecto Invernadero.- Son aquellos gases naturales presentes en la atmósfera que se ven afectados en su concentración por la actividad humana contribuyendo al efecto invernadero.

Habitabilidad.- Objetivo principal de la Arquitectura, proporcionar condiciones ideales de salud y confort en los edificios, generando un ambiente con aislamiento térmico y acústico, así mismo el espacio sea totalmente salubre.

Isla de Calor Urbana.- Es el efecto producido por la variación de temperatura registrada en las ciudades debido a la escases de áreas verdes y la gran cantidad de materiales que absorben la radiación solar.

Irradiancia.-Energía de radiación solar que recibe una superficie determinada en un instante.

Radiación Solar Difusa.- Radiación que proviene de las reflexiones en la atmósfera, esta se mide utilizando sistemas de sombreado.

Radiación Solar Directa.- Es la radiación que proviene directamente del Sol. Se mide utilizando sistemas de seguimiento del movimiento del Sol.

Radiación Solar Global.- Es la suma de la radiación directa y la radiación difusa.

Mimetizar.- Imitar o reproducir el aspecto del entorno en el que se encuentra.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Muro Verde.- Instalación vertical de plantas a un muro exterior o interior, ancladas a una estructura especialmente diseñada para contener un sistema establecido.

¹Naturación.- Es una técnica constructiva que permite incorporar vegetación sobre cualquier tipo de superficie de las edificaciones, ya sea horizontal, vertical o inclinada.

Panel Vegetal.- Producto modular con dimensiones y material específico, que tiene la característica de contener y proporcionar los nutrientes para que una planta se desarrolle en su superficie.

PET.- Polietileno tereftalato. Materia prima derivada del petróleo, forma parte de los termoplásticos, por lo que se puede reciclar. Es un tipo de plástico usado comúnmente para envases de bebidas y textiles.

Poliestireno.- Polímero termoplástico, material derivado del petróleo que se obtiene de la polimerización del estireno. Se presenta de dos formas: expandido o extruido.

Polipropileno.- Se obtiene de la polimerización del propileno, material termoplástico parcialmente cristalino.

Precolados o Prefabricados.- Producción de elementos constructivos realizados fuera o al pie de la obra. Cuando son producidos en serie se les denomina industrializados.

Radiación.- Es el intercambio de calor que un cuerpo, dependiendo de su área expuesta libera hacia las superficies que lo rodean.

Radiación de Onda Corta.-Radiación que nos llega directamente del Sol.

Radiación de Onda Larga.- Radiación que emiten los cuerpos materiales después de absorber la radiación solar.

¹Reflectancia Visible.- Coeficiente entre el rayo incidente y la radiación reflejada por éste en una superficie.

Serroteado.- Tipo de acabado en muros que consiste en la aplicación del mortero más agregado de piedra o grava el cual definirá la porosidad del acabado.

Sistema Constructivo.- Conjunto de elementos organizados que dan solución a un problema, empleando técnicas, utilizando materiales adecuados y dispuestos de tal forma que generen un buen resultado.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Sistemas de Climatización.- Tecnología empleada para generar un ambiente de confort al usuario, ya sea calefacción o refrigeración de forma mecánica.

²Sustrato.- Material orgánico que suministra agua, nutrientes y oxígeno a las plantas y es soporte físico de la vegetación orgánica y suelo mineral.

³Tendencia Verde.- Una moda que en arquitectura se está convirtiendo en una necesidad por aprovechar los recursos naturales de tal forma que minimicen el impacto ambiental que provoca la construcción de edificios, así mismo reducir el consumo de energía en sistemas de climatización artificial e impulsar la utilización de energías renovables.

Termopar.- Sensor que mide la temperatura, se compone de dos conductores metálicos con diferente composición metalúrgica, unidos en sus extremos.

¹ Definiciones tomadas de la tesis de Ilse García Villalobos, *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*. UNAM 2011.

² Definición tomada de la tesis de Jazmín Carbajal Ávila, *Diseño térmico de azotea verde en clima cálido subhúmedo*. UNAM 2009.

³ Definición tomada del *Artículo Arquitectura sustentable: tendencia verde*. Sección Estilo de Vida, página www.altonivel.com.mx

⁴ Definición tomada del ASHRAE 55.

BIBLIOGRAFÍA

- Carrera Acosta, A. (2011). *Sistemas Vegetales Verticales*. (Máster en Sistemas y Técnicas de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, España). Recuperado de http://oa.upm.es/10204/2/TESIS_MASTER_ALVARO_CARRERA_ACOSTA.pdf
- Neila González, F. J., Bedoya Frutos, C. y Britto Correa, C. (1999). *La cubierta ecológica en el contexto de la arquitectura bioclimática*. Briz, Julián. Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Editorial Mundi-Prensa Libros, España.
- González Bernaldo de Quirós, A. y, González Bernaldo de Quirós, J. C. (1999). *El entorno urbano de la jardinería urbana*. Briz, Julián. Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Editorial Mundi-Prensa Libros, España.
- Ruiz Miranda, M. (1999). *Desarrollo del plan marketing para la introducción comercial de las azoteas ecológicas*. Briz, Julián. Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. Editorial Mundi-Prensa Libros, España.
- García Villalobos, I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.
- Carbajal Ávila, J. (2009). *Diseño térmico de azotea verde en clima cálido subhúmedo*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.
- Schumann, A. (2011). *Mejoramiento del Desempeño Térmico en Casas en Zonas Cálido Húmedas y Cálido Subhúmedas*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.
- Vargas Palma, G. A. (2008). *Sistemas en Fachadas: Hacia la Bioclimática Vertical en la Ciudad de México*. (Tesis del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura). UNAM, México.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

- Zimmermann, M. (2010). *Psicología ambiental, calidad de vida y desarrollo sostenible*. Colombia, Ecoe Ediciones.
- Aguilar-Dubose, C. y Delgado Castillo, C. (2011). *Diseño y construcción sostenibles: una realidad ineludible*. Universidad Iberoamericana, México.
- Ortega Mendoza, A. R. y Carbajal Ávila, J. *Cubiertas vegetales, una revisión histórica y técnica*. 32 Semana Nacional de Energía Solar, ABC-29.
- Ochoa de la Torre, J. M. (1999). *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Recuperado de <http://www.tdx.cat/handle/10803/6124>
- Kaplan, R. *The Nature of the View from Home: Psychological Benefits*. Environment and Behavior 2001; 33; 507.
- Lohr, V.I.; Pearson-Mims, C.H.; Goodwin, G.K. *Interior plants may improve worker productivity and reduce stress in a windowless environment*. J. of Environmental Horticulture 1996 14(2): 97-100.
- Yoshimi, J. y Altan, H. (2011). *Thermal simulations on the effects of vegetated walls on indoor building environments*. Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney.
- Soria, M., Acosta, M., Oliva, A. (et al.) (2004). *Use of vegetation to reduce overheating in singular and conventional buildings - GREENFACADE Project*. Centro de Transferencia de Calor. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Miller, A., Shaw, K., & Lam, M. (2007). *Vegetation on building facades: "Bioshader"*. Case Study Report. University of Brighton. England.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Meadows, D., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento*. Editorial Fondo Cultura Económica, México.

Braungart, M., McDonough, W. (2005). *Cradle to cradle: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. Editorial McGraw Hill. Madrid.

Villavicencio, M. (2013). *Muros verdes, una medicina para el "edificio enfermo"*. Interiorismo, Obras Web. Fuente: <http://www.obrasweb.mx>. Página consultada el 16 de mayo 2013.

Segura, S., (2005). *Los jardines en la antigüedad*; edición a cargo de Javier Torres Ripa. Universidad de Deusto, Bilbao.

López, R., Cabeza, A., Meza, C. (2000). *Las trepadoras en el diseño de los espacios exteriores*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura, México, D.F.

Sheweka, S. M., & Mohamed, N. M. (2012). *Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change*. Energy Procedia, 18. Cairo, Egipto. Pág. 507-520.

Secretaría de Obras y Servicios, Coordinación Técnica (2011). *Precios unitarios*. Tabulador 2011. Ciudad de México, Capital en movimiento. México, D.F.

Revista NC Nueva Construcción, N.25, Febrero 2011, Calidad Medioambiental

<http://www.planverde.df.gob.mx/planverde/>

<http://www.verticalgardenpatrickblanc.com/#/en/projects/geographical/60>

<http://greenroofs.org/>

http://www.urbanhabitats.org/v04n01/berlin_full.html

<http://www.upc.edu/saladeprensa>

<http://www.archdaily.com/>

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.	Pintura del siglo XVI de los Jardines Colgantes de Babilonia.....	6
Imagen 2.	Reconstrucción de los jardines colgantes de Babilonia.....	6
Imagen 3.	Detalle de la reconstrucción de los jardines colgantes de Babilonia.....	6
Imagen 4.	Casas con turba en Glaumbaer, Islandia.....	7
Imagen 5.	Estación Gullersfjord, Noruega.....	7
Imagen 6.	Villa Savoye, ubicada en Poissy, París. Obra del arquitecto Le Corbusier, 1929.....	8
Imagen 7.	Jardín en la cubierta de La Villa Savoye, ubicada en Poissy, París. Obra del arquitecto Le Corbusier, 1929.....	8
Imagen 8.	Vista en fachada, sección y perspectiva del componente flexible formado por unidades rígidas.....	11
Imagen 9.	Sección y composición de la unidad portable.....	11
Imagen 10.	Sección vertical de la estructura de soporte.....	11
Imagen 11.	Muro verde de Patrick Blanc en 1986.....	12
Imagen 12.	Primer muro verde de Patrick Blanc en 1986, Ciudad de las Ciencias y la Industria en París, Francia.....	12
Imagen 13.	Bosquejo de cómo los elementos se desarrollarán en el sistema, Proyecto Green-Facade.....	14
Imagen 14.	Diseño de elementos de soporte para permitir una buena accesibilidad, Proyecto Green-Facade....	14
Imagen 15.	Rue d'Alsace, París, por Patrick Blanc, 2008.....	16
Imagen 16.	Fachada de la Rue d'Alsace, París, por Patrick Blanc, 2008.....	16
Imagen 17.	Logo de la Asociación Francesa de Techos y Fachadas Vegetales.....	16
Imagen 18.	Techo verde en el Chicago City Hall.....	17
Imagen 19.	Logo de la Asociación Techos Verdes para Ciudades Saludables.....	17
Imagen 20.	Azotea del Instituto del Fondo Nacional de Vivienda de los Trabajadores.....	18
Imagen 21.	Azotea verde en la estación del metro Insurgentes.....	18
Imagen 22.	Vista de la azotea naturada en el Jardín Botánico de la UNAM.....	19
Imagen 23.	Azotea verde en el edificio de colecciones, ubicado en el Jardín Botánico, UNAM.....	19
Imagen 24.	Muro verde ubicado en el corredor Regina de la Ciudad de México.....	20
Imagen 25.	Muro verde ubicado en Av. Javier Barros Sierra, Lomas de Santa Fe, Ciudad de México.....	20
Imagen 26.	Colocación de los instrumentos de medición, en las diferentes variables de muros con y sin vegetación. Hoyano, A. 1998, Tokio.....	23
Imagen 27.	Demuestra la diferencia de temperaturas de una fachada que está cubierta con vegetación (hiedra) y otra sin cubrir. Hoyano, A, 1998, Tokio.....	23
Imagen 28.	Sección vertical del sistema bioshader.....	24
Imagen 29.	Tormenta Sandy, inundación a causa de los cambios climáticos, NY, EU.....	26
Imagen 30.	Crecimiento de la Cd. de México, vista nocturna.....	26
Imagen 31.	Vista en la ciudad del proyecto granja vertical.....	33
Imagen 32.	Proyecto granja vertical.....	33
Imagen 33.	Módulo básico de diseño.....	34
Imagen 34.	Propuesta de granja vertical por Jin Ho Kim.....	34
Imagen 35.	Simulación de una fachada vegetal en el Hotel Ako-Suites Aparthotel de Barcelona.....	36
Imagen 36.	Simulación de una fachada vegetal en el Centro Cultural Aeronáutico del Prat de Llogregat.....	36
Imagen 37.	Vista sin riego con aspersores.....	37
Imagen 38.	Vista de riego con aspersores.....	37
Imagen 39.	Fachada de concreto vegetal con "poros" donde crecen las plantas.....	37
Imagen 40.	Fachada con paneles de aluminio que funcionan como jardineras verticales.....	40
Imagen 41.	Paneles ligeramente inclinados que entregan una apariencia orgánica.....	40
Imagen 42.	Problemas presentados en el sistema hidropónico.....	43
Imagen 43.	Acercamiento al sistema, donde se puede apreciar la capa textil.....	43
Imagen 44.	Sistema G-Sky, Pro wall systems y Versa wall system.....	45
Imagen 45.	Sistema Green Living Technologies.....	45
Imagen 46.	Plantas trepadoras, que se dispersan en la fachada.....	46
Imagen 47.	Sistema para plantas trepadoras, se muestra la estructura donde se dispersarán éstas.....	46

Imagen 48.	Sistema G-Sky, producto tipo Basic Wall, compuesto de una caja donde se inserta la planta trepadora.....	46
Imagen 49.	Muestra de colocación de bloque de concreto para jardín vertical.....	47
Imagen 50.	Muro de contención con vegetación en vialidad.....	47
Imagen 51.	Marco vegetal empleado como decoración en muro.....	48
Imagen 52.	Muro móvil, utilizado como separador de ambientes en espacios interiores.....	48
Imagen 53.	Sedum Pachyphyllum.....	51
Imagen 54.	Sedum Griseum.....	51
Imagen 55.	Vista del contenedor de agua del sistema diseñado por el Biólogo Reyes.....	54
Imagen 56.	Diseño general de los muros verdes. Sistema del Biólogo Reyes.....	54
Imagen 57.	Vista de los esquejes insertados en la tela geo- textil. Sistema del Biólogo Reyes.....	54
Imagen 58.	Molde de madera para el prefabricado.....	60
Imagen 59.	Colocación del armado de acero.....	60
Imagen 60.	Vaciado del concreto para el prefabricado.....	60
Imagen 61.	Rollos de la fibra de vidrio que se mezcla con el mortero.....	63
Imagen 62.	Plano en alzado del panel primera propuesta.....	69
Imagen 63.	Proceso de colado del panel primera propuesta.....	69
Imagen 64.	Panel vegetal primera propuesta.....	69
Imagen 65.	Idea general de la propuesta del Panel Vegetal: incorporación de vegetación a paneles prefabricados que actuarán como envolventes de edificaciones.....	71
Imagen 66.	Diseño de propuesta de panel prefabricado para fachadas vegetales.....	71
Imagen 67.	Alzado y corte de propuesta de panel prefabricado para fachadas vegetales.....	72
Imagen 68.	Detalle de panel prefabricado para fachadas vegetales.....	72
Imagen 69.	Perspectiva del edificio de Justicia Penal en construcción, Mexicali, B.C.....	73
Imagen 70.	Perspectiva del edificio de Justicia Penal actual, Mexicali, B.C.....	73
Imagen 71.	Perspectiva del edificio de Justicia Penal con propuesta de prefabricado, Mexicali, B.C.....	74
Imagen 72.	Vista detalle del prefabricado con vegetación.....	74
Imagen 73.	Vista aérea de la ubicación del Instituto de Geofísica de la UNAM.....	78
Imagen 74.	Ubicación del Instituto de Geofísica de la UNAM.....	78
Imagen 75.	Vista aérea de la ubicación de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM.....	79
Imagen 76.	Vista del área de montaje del experimento en azotea de la Unidad de Posgrados.....	79
Imagen 77.	Ubicación de la delegación Coyoacán en el Distrito Federal.....	80
Imagen 78.	Vista aérea de la azotea del Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica de la UNAM...	80
Imagen 79.	Vista panorámica de 180° del Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica de la UNAM. Orientación sur.....	81
Imagen 80.	Vista aérea de la azotea de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM.....	81
Imagen 81.	Vista este de la azotea de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM.....	81
Imagen 82.	Vista de la azotea de la Unidad de Posgrados en el Centro Cultural de la UNAM.....	81
Imagen 83.	Colocación de las placas en el Observatorio.....	90
Imagen 84.	Detalle de colocación de termopares en la superficie de las placas.....	90
Imagen 85.	Colocación de termopares tipo J en la superficie de las placas.....	91
Imagen 86.	Colocación de las especies previamente seleccionadas.....	91
Imagen 87.	Medición con termómetro digital.....	91
Imagen 88.	Medición con termómetro láser.....	91
Imagen 89.	Medición con cámara termográfica.....	92
Imagen 90.	Imagen tomada por la cámara termográfica.....	92
Imagen 91.	Características de los módulos utilizados en el experimento núm 2.....	93
Imagen 92.	Módulo de experimento núm. 2.....	94
Imagen 93.	Registrador de datos marco HOBO.....	94
Imagen 94.	Colocación de vegetación en módulo de prueba.....	94
Imagen 95.	Medición de temperaturas al interior de los módulos con diferente especie trepadora.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Acciones que engloban a cada uno de los principales ejes temáticos en las estrategias del Plan Verde.....	27
Tabla 2.	Características del sistema hidropónico.....	43
Tabla 3.	Características del sistema modular.....	44
Tabla 4.	Características de las especies.....	53
Tabla 5.	Propiedades mecánicas del GFRC.....	62
Tabla 6.	Propiedades mecánicas de los diferentes tipos de vidrio.....	63
Tabla 7.	Propiedades generales del GFRC.....	63
Tabla 8.	Descripción de ventajas y desventajas de los sistemas de muros verdes.....	73
Tabla 9.	Comparativa económica de las diferentes empresas en el mercado.....	74
Tabla 10.	Comparativa económica de las diferentes empresas en el mercado.....	75
Tabla 11.	Temperaturas registradas a cada hora en los días de experimentación, mes de junio.....	81
Tabla 12.	Humedad relativa registradas a cada hora en los días de experimentación, mes de junio.....	82
Tabla 13.	Temperaturas mensuales, de confort y oscilación en la zona de estudio.....	86
Tabla 14.	Instrumentos que se utilizaron en la medición del experimento.....	90
Tabla 15.	Especies vegetales que se utilizaron en la segunda fase del experimento núm, 2.....	93
Tabla 16.	Lecturas tomadas con diferentes equipos de medición de temperatura.....	95
Tabla 17.	Irradiancia solar directa. Abril 2014.....	113
Tabla 18.	Irradiancia solar difusa. Abril 2014.....	113
Tabla 19.	Irradiancia solar global. Abril 2014.....	114
Tabla 20.	Irradiancia solar directa. Junio 2014.....	115
Tabla 21.	Irradiancia solar difusa. Junio 2014.....	115
Tabla 22.	Irradiancia solar global. Junio 2014.....	115
Tabla 23.	Mediciones a cada dos horas con cámara termográfica en cada superficie de las placas.....	118
Tabla 24.	Mediciones a cada dos horas con termómetro digital en cada superficie de las placas.....	120
Tabla 25.	Mediciones a cada dos horas con termómetro infrarrojo en cada superficie de las placas.....	122
Tabla 26.	Mediciones del día 9 de abril a cada dos horas con diferentes equipos en cada superficie de las placas.....	123
Tabla 17.	Mediciones del día 10 de abril a cada dos horas con diferentes equipos en cada superficie de las placas.....	124
Tabla 28.	Mediciones del día 11 de abril a cada dos horas con diferentes equipos en cada superficie de las placas.....	125

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Temperaturas registradas a cada hora en los días de experimentación, mes de abril.....	80
Gráfica 2.	Humedad relativa registradas a cada hora en los días de experimentación, mes de abril.....	80
Gráfica 3.	Temperaturas diarias de la zona de estudio, mes de junio.....	81
Gráfica 4.	Humedad relativa diaria de la zona de estudio, mes de junio.....	82
Gráfica 5.	Irradiancia solar directa en los días de experimentación, mes de abril.....	83
Gráfica 6.	Irradiancia solar directa en los días de experimentación, mes de abril.....	84
Gráfica 7.	Irradiancia solar directa en los días de experimentación, mes de junio.....	85
Gráfica 8.	Desempeño térmico de los prefabricados en los días de abril.....	96
Gráfica 9.	Desempeño térmico al interior del módulo utilizando prefabricado y vegetación para cerrar el espacio. Medición en los días de junio.....	97
Gráfica 10.	Desempeño térmico al interior del módulo utilizando solamente prefabricado para cerrar el espacio. Medición en los días de junio.....	98
Gráfica 11.	Comparativa del comportamiento interior de los módulos.....	98
Gráfica 12.	Desempeño térmico al interior del módulo utilizando especie trepadora hedera hélix l.....	99
Gráfica 13.	Desempeño térmico al interior del módulo utilizando especie trepadora ficus pumila variegata....	100
Gráfica 14.	Comparativa del comportamiento interior de los módulos con diferente especie recubriendo la placa prefabricada.....	101
Gráfica 15.	Irradiancia solar directa. Abril 2014.....	113
Gráfica 16.	Irradiancia solar difusa. Abril 2014.....	113
Gráfica 17.	Irradiancia solar global. Abril 2014.....	114
Gráfica 18.	Datos de irradiancia solar en los días 9, 10 y 11 del mes de abril, 2014.....	114
Gráfica 19.	Irradiancia solar directa. Junio 2014.....	115
Gráfica 20.	Irradiancia solar difusa. Junio 2014.....	115
Gráfica 21.	Irradiancia solar global. Junio 2014.....	115
Gráfica 22.	Datos de irradiancia solar en los días del mes de junio, 2014.....	116
Gráfica 23.	Comportamiento de placa GFRC sin vegetación, día 9.....	123
Gráfica 14.	Comportamiento de placa GFRC con vegetación, día 9.....	123
Gráfica 25.	Comportamiento de placa GFRC sin vegetación, día 10.....	124
Gráfica 26.	Comportamiento de placa GFRC con vegetación, día 10.....	124
Gráfica 27.	Comportamiento de placa GFRC sin vegetación, día 11.....	125
Gráfica 28.	Comportamiento de placa GFRC con vegetación, día 11.....	125

ÍNDICE DE ESQUEMAS

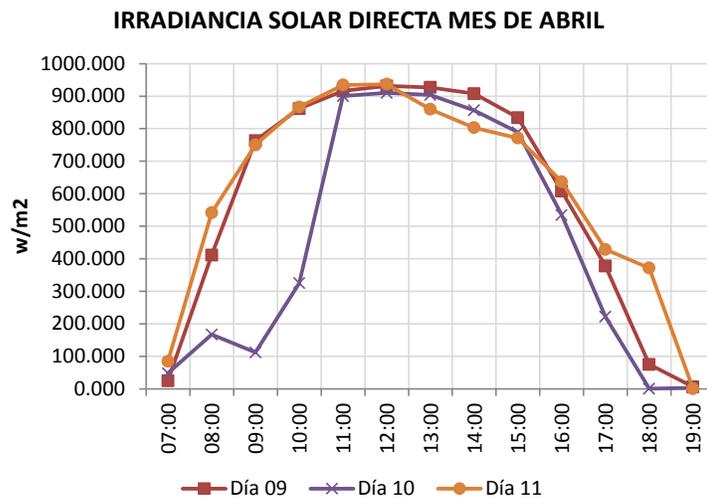
Esquema 1.	Componente del sistema de riego.....	58
-------------------	--------------------------------------	----

Anexo 1. Datos de Irradiancia Solar - Mes de abril.

Días del Mes de Abril, 2014.

HORA	IRRADIANCIA SOLAR DIRECTA MES DE ABRIL		
	Día 09	Día 10	Día 11
07:00	25.166	48.172	84.776
08:00	411.436	167.123	541.634
09:00	763.132	112.135	750.036
10:00	861.487	324.781	866.415
11:00	915.942	900.330	934.091
12:00	931.428	909.981	936.620
13:00	927.001	903.693	859.526
14:00	907.510	856.326	802.990
15:00	833.751	788.577	771.057
16:00	607.689	534.508	636.754
17:00	377.271	221.589	428.508
18:00	75.025	0.436	371.724
19:00	6.373	3.510	0.310

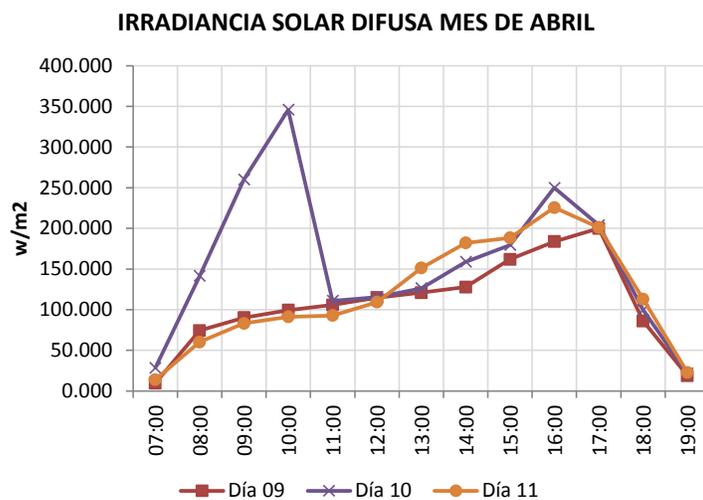
Tabla 17: Irradiancia solar directa. Abril 2014.



Gráfica 15: Irradiancia solar directa. Abril 2014.

HORA	IRRADIANCIA SOLAR DIFUSA MES DE ABRIL		
	Día 09	Día 10	Día 11
07:00	9.697	28.427	13.946
08:00	74.328	141.498	60.170
09:00	90.202	260.101	83.212
10:00	99.443	345.783	91.281
11:00	105.782	110.975	92.803
12:00	114.790	115.500	109.320
13:00	120.930	126.362	151.347
14:00	127.820	158.859	182.103
15:00	161.968	179.423	188.316
16:00	183.725	249.935	225.516
17:00	200.036	203.955	201.202
18:00	86.068	99.660	113.080
19:00	18.913	21.682	22.898

Tabla 18: Irradiancia solar difusa. Abril 2014.

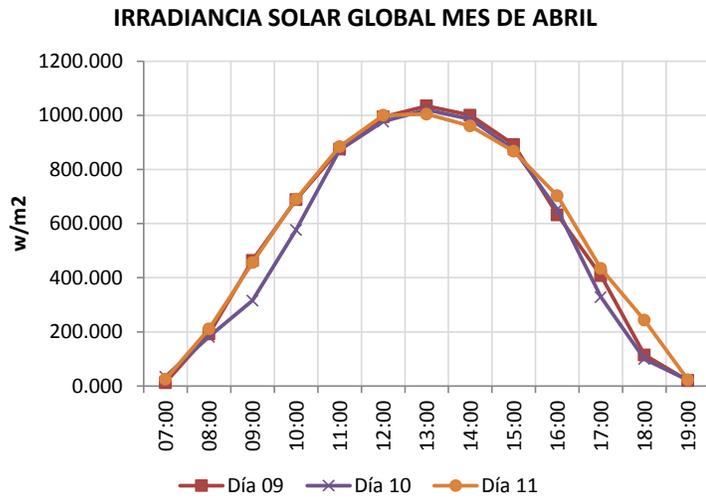


Gráfica 16: Irradiancia solar difusa. Abril 2014

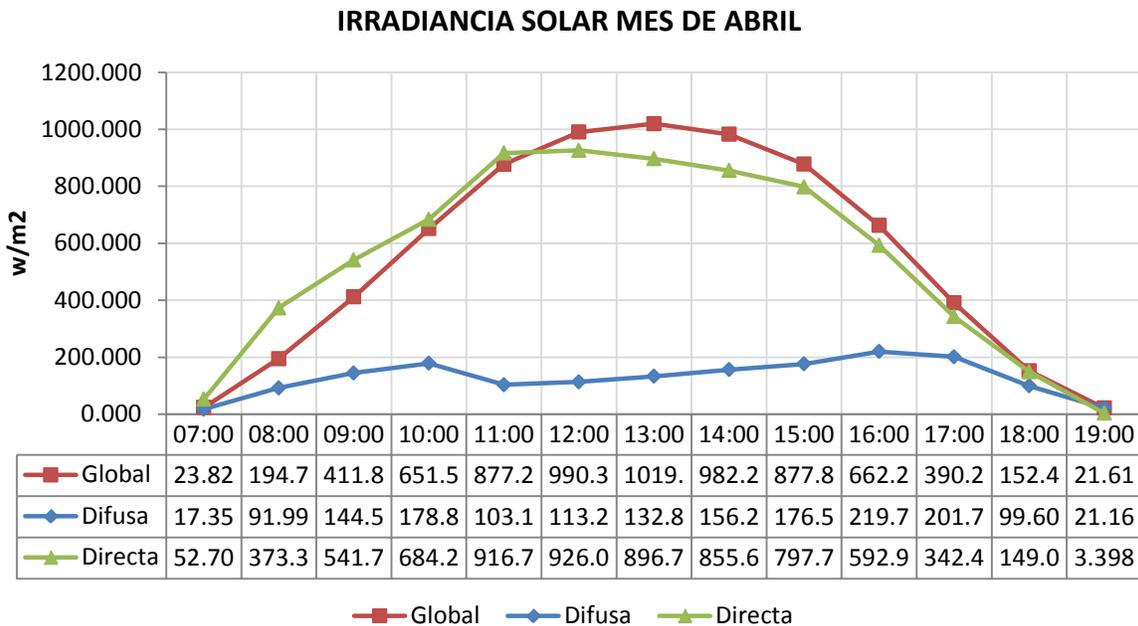
Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

HORA	IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL MES DE ABRIL		
	Día 09	Día 10	Día 11
07:00	12.451	34.273	24.744
08:00	192.034	181.651	210.603
09:00	464.383	315.309	455.979
10:00	688.013	576.157	690.374
11:00	874.845	872.310	884.590
12:00	994.161	976.983	999.994
13:00	1034.717	1020.102	1004.392
14:00	1000.534	985.728	960.471
15:00	891.881	874.598	866.947
16:00	632.538	651.487	702.639
17:00	408.236	328.474	434.072
18:00	114.588	99.638	243.001
19:00	19.994	21.934	22.901

Tabla 19: Irradiancia solar global. Abril 2014.



Gráfica 17: Irradiancia solar global. Abril 2014



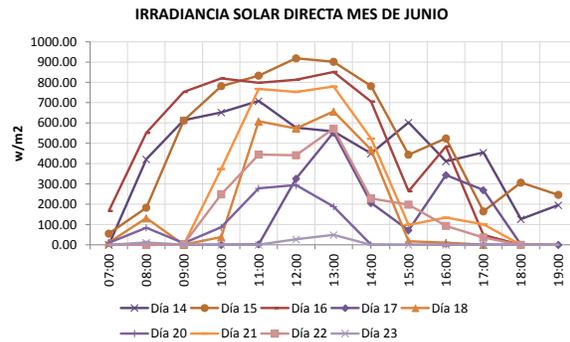
Gráfica 18: Datos de irradiancia solar en los días 9, 10 y 11 del mes de abril, 2014.

Anexo 2. Datos de Irradiancia Solar - Mes de junio.

Días del Mes de Junio, 2014.

HORA	IRRADIANCIA SOLAR DIRECTA MES DE JUNIO								
	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23
07:00	0.00	55.67	166.63	-0.37	11.08	10.09	-0.12	-0.37	-0.12
08:00	421.54	182.69	551.68	-0.37	131.26	84.31	0.12	0.12	11.46
09:00	613.82	612.20	752.93	0.05	0.62	7.85	0.12	2.99	0.25
10:00	651.93	781.20	819.68	0.25	37.98	86.55	373.97	248.69	0.50
11:00	708.47	833.25	798.13	2.37	608.34	278.33	767.62	444.33	0.25
12:00	576.71	918.68	812.95	326.03	573.10	294.02	753.18	440.97	26.90
13:00	558.28	901.62	851.56	553.42	656.54	188.67	779.70	572.35	48.69
14:00	449.94	781.82	705.60	206.35	468.74	0.25	523.16	227.90	-0.25
15:00	602.49	443.59	264.13	71.86	17.31	-0.12	98.38	197.51	0.00
16:00	411.33	524.16	484.56	343.59	10.59	0.75	134.00	93.40	0.25
17:00	454.92	164.88	47.95	269.86	0.25	1.00	100.50	35.74	0.50
18:00	126.40	306.35	0.12	0.62	-0.05	0.02	-0.12	0.12	-0.12
19:00	195.39	245.83	-1.12	0.12	-0.37	-0.25	-0.12	-0.25	-0.37

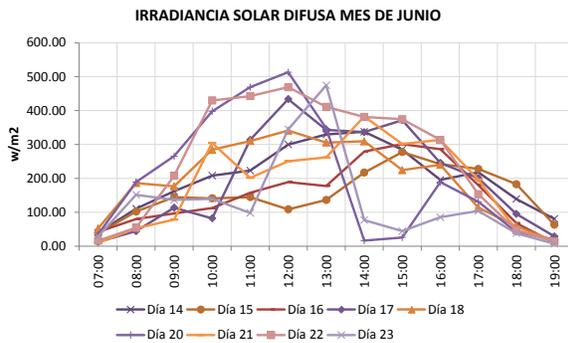
Tabla 20: Irradiancia solar directa. Junio 2014.



Gráfica 19: Irradiancia solar directa. Junio 2014.

HORA	IRRADIANCIA SOLAR DIFUSA MES DE JUNIO								
	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23
07:00	39.48	37.25	41.95	12.57	51.94	34.20	9.40	16.10	28.44
08:00	110.34	102.12	80.02	44.18	186.25	188.84	52.41	54.41	151.59
09:00	161.93	144.54	96.47	113.63	176.26	265.45	78.38	207.76	136.55
10:00	208.23	141.01	112.34	82.14	284.37	397.77	304.58	429.85	139.48
11:00	222.91	144.54	157.34	313.63	310.22	468.98	201.53	442.77	98.12
12:00	299.76	108.58	189.19	433.84	341.01	513.16	250.65	468.98	344.77
13:00	329.49	136.43	177.67	343.36	305.76	347.47	261.93	410.93	474.62
14:00	337.49	217.27	278.97	336.55	309.40	16.33	382.61	381.20	76.85
15:00	284.61	277.67	301.06	371.68	224.44	25.62	301.65	374.62	44.18
16:00	195.30	242.07	285.90	245.59	240.07	188.84	313.63	313.51	85.19
17:00	217.98	227.85	180.14	200.59	113.63	130.90	196.24	153.35	103.76
18:00	139.13	182.84	68.16	95.18	58.87	41.25	48.06	46.89	37.96
19:00	80.61	63.10	9.52	28.67	15.04	19.39	16.80	13.87	6.82

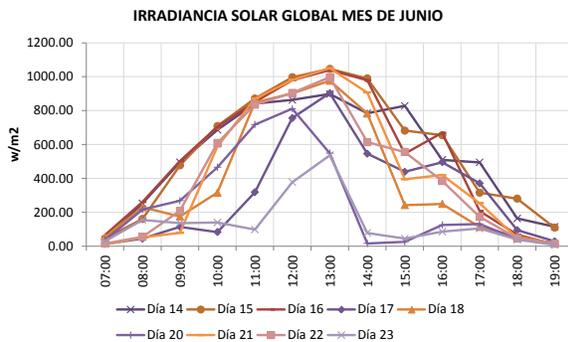
Tabla 21: Irradiancia solar difusa. Junio 2014.



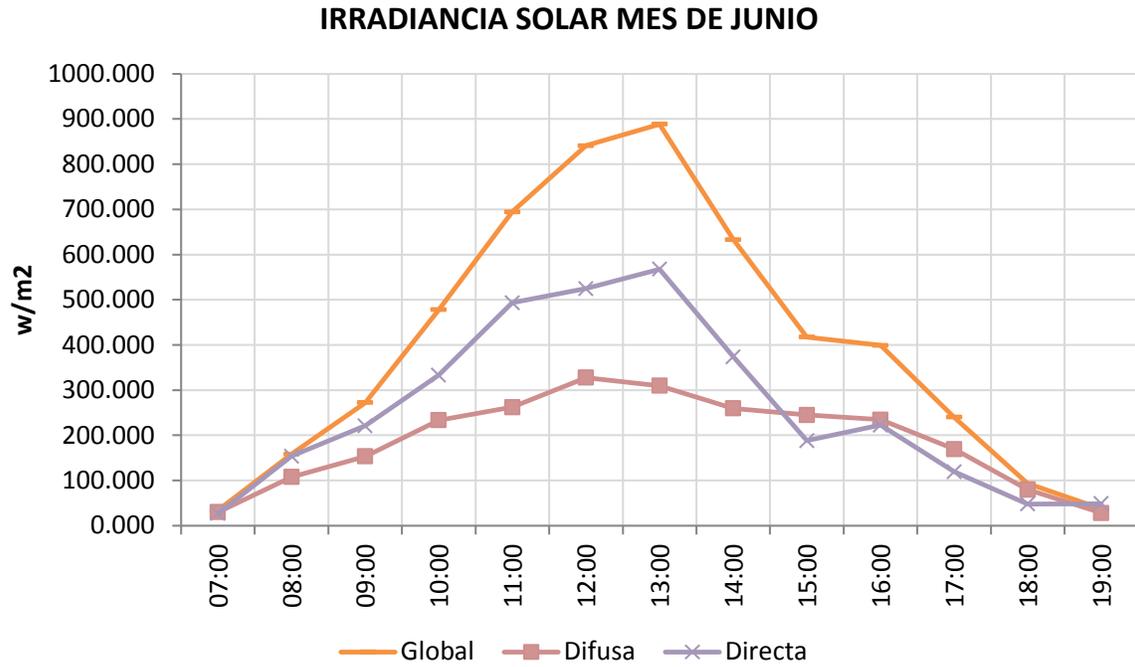
Gráfica 20: Irradiancia solar difusa. Junio 2014.

HORA	IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL MES DE JUNIO								
	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23
07:00	39.66	44.55	66.02	12.84	53.75	36.02	9.43	16.14	28.41
08:00	252.84	160.57	260.80	44.55	229.77	215.57	52.27	54.32	154.77
09:00	494.32	476.25	501.70	113.86	175.00	268.07	78.64	208.64	135.91
10:00	686.25	709.20	704.66	83.07	315.91	465.11	588.30	608.30	139.43
11:00	841.48	871.25	851.48	318.41	848.18	717.73	869.43	835.23	98.18
12:00	863.30	996.93	979.89	755.80	901.36	810.91	980.68	904.20	377.50
13:00	897.95	1046.02	1039.77	903.18	976.36	548.52	1050.68	997.16	536.48
14:00	784.32	989.77	979.32	546.02	782.95	16.25	906.48	613.98	77.84
15:00	828.30	682.16	545.91	438.64	242.16	25.68	394.77	555.34	44.55
16:00	509.32	654.89	668.98	495.57	249.20	125.00	419.89	384.55	85.68
17:00	494.32	315.68	206.70	370.80	112.95	131.02	253.41	172.73	104.43
18:00	163.41	280.34	67.73	94.55	58.41	41.25	47.84	46.70	38.52
19:00	114.66	108.98	9.32	28.41	15.34	19.89	17.05	13.86	7.50

Tabla 22: Irradiancia solar global. Junio 2014.



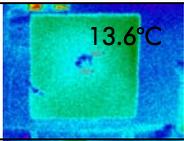
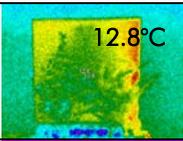
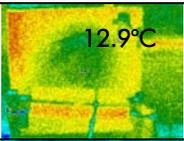
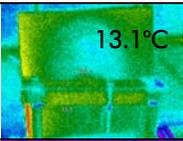
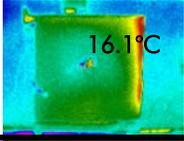
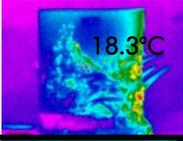
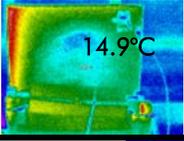
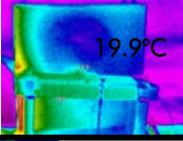
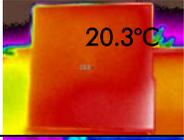
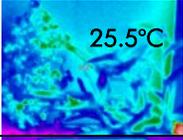
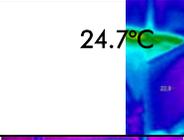
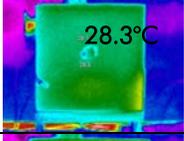
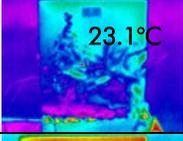
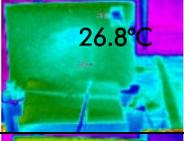
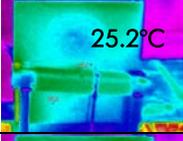
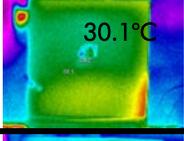
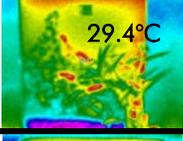
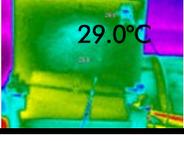
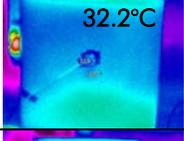
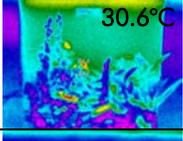
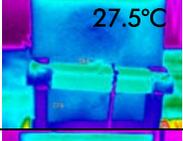
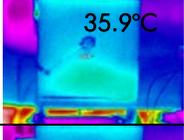
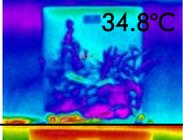
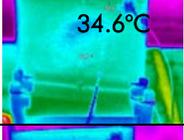
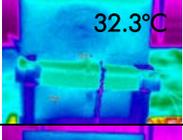
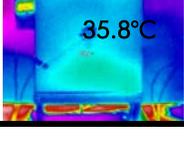
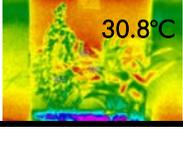
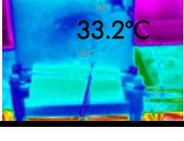
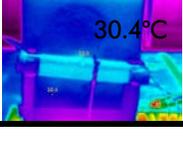
Gráfica 21: Irradiancia solar global. Junio 2014.



Gráfica 22: Datos de irradiancia solar en los días del mes de junio, 2014.

Anexo 3. Lecturas del Experimento Núm.1.

Cámara Termográfica.

Día y Hora		Placa Vista Frontal		Placa Vista Posterior	
		Sin Vegetación	Con vegetación	Sin Vegetación	Con Vegetación
Día 09	09:00 horas	--	--	--	--
Día 10		 13.6°C	 12.8°C	 12.9°C	 13.1°C
Día 11		 16.1°C	 18.3°C	 14.9°C	 19.9°C
Día 09	11:00 horas	 20.3°C	 25.5°C	 24.7°C	 22.9°C
Día 10		 28.3°C	 23.1°C	 26.8°C	 25.2°C
Día 11		 30.1°C	 29.4°C	 29.0°C	 28.2°C
Día 09	13:00 horas	 32.2°C	 30.6°C	--	 27.5°C
Día 10		 35.9°C	 34.8°C	 34.6°C	 32.3°C
Día 11		 35.8°C	 30.8°C	 33.2°C	 30.4°C

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

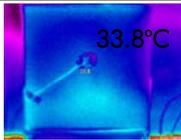
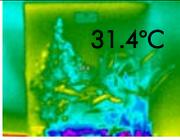
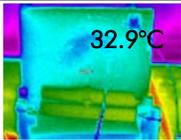
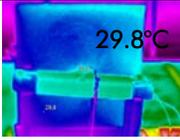
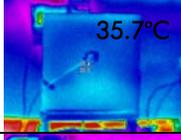
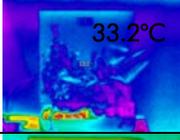
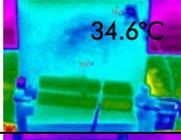
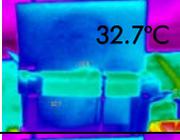
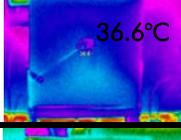
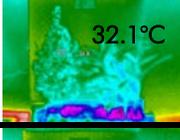
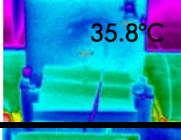
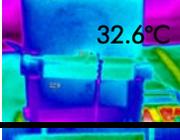
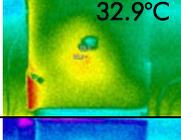
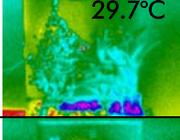
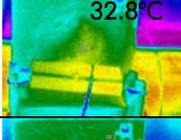
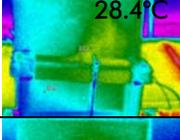
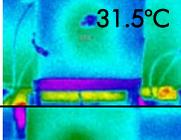
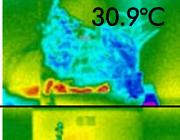
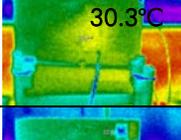
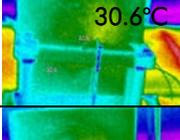
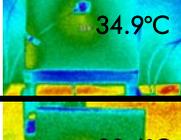
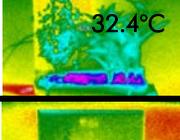
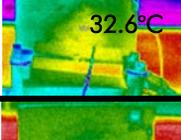
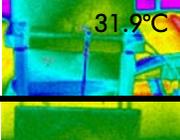
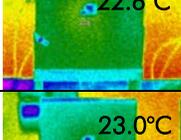
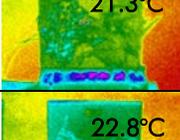
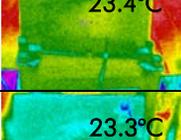
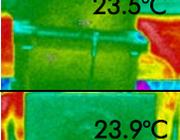
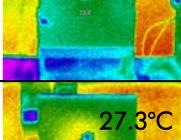
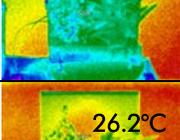
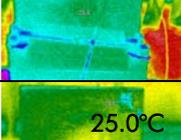
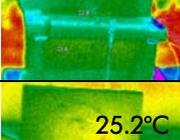
Día 09		 33.8°C	 31.4°C	 32.9°C	 29.8°C
Día 10	15:00 horas	 35.7°C	 33.2°C	 34.6°C	 32.7°C
Día 11		 36.6°C	 32.1°C	 35.8°C	 32.6°C
Día 09	17:00 horas	 32.9°C	 29.7°C	 32.8°C	 28.4°C
Día 10		 31.5°C	 30.9°C	 30.3°C	 30.6°C
Día 11		 34.9°C	 32.4°C	 32.6°C	 31.9°C
Día 09	19:00 horas	 22.6°C	 21.3°C	 23.4°C	 23.5°C
Día 10		 23.0°C	 22.8°C	 23.3°C	 23.9°C
Día 11		 27.3°C	 26.2°C	 25.0°C	 25.2°C

Tabla 23: Mediciones a cada dos horas con cámara termográfica en cada superficie de las placas.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Con Termómetro Digital.

Día y Hora		Placa Vista Frontal		Placa Vista Posterior			
		Sin Vegetación	Con vegetación	Sin Vegetación	Con Vegetación		
Día 09	09:00 horas	--		--			
Día 10		13.6°C		12.9°C	14.5°C		13.5°C
Día 11		15.3°C		17.0°C	16.1°C		18.0°C
Día 09	11:00 horas	--		--			
Día 10		29.8°C		27.3°C	27.7°C		25.9°C
Día 11		30.5°C		29.8°C	29.2°C		28.3°C
Día 09	13:00 horas	32.5°C		30.3°C	29.2°C		27.9°C
Día 10		36.9°C		35.3°C	34.2°C		33.2°C
Día 11		38.3°C		36.3°C	35.5°C		32.9°C

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Día 09		36.3°C		32.5°C	33.2°C		29.8°C
Día 10	15:00 horas	37.3°C		35.2°C	34.0°C		33.1°C
Día 11		39.9°C		36.6°C	36.3°C		33.3°C
Día 09		33.6°C		32.4°C	31.6°C		31.4°C
Día 10	17:00 horas	34.0°C		24.7°C	23.8°C		31.8°C
Día 11		38.3°C		34.9°C	34.4°C		33.5°C
Día 09		23.9°C		24.5°C	22.6°C		23.8°C
Día 10	19:00 horas	24.4°C		24.7°C	23.8°C		24.8°C
Día 11		28.4°C		28.8°C	26.6°C		27.7°C

Tabla 24: Mediciones a cada dos horas con termómetro digital en cada superficie de las placas.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Con Termómetro IR

Día y Hora		Placa Vista Frontal		Placa Vista Posterior	
		Sin Vegetación	Con vegetación	Sin Vegetación	Con Vegetación
Día 09	09:00 horas	--	--	--	--
Día 10		 13.7°C	 12.6°C	 13.1°C	 14.1°C
Día 11		 15.5°C	 19.6°C	 15.1°C	 21.2°C
Día 09	11:00 horas	 29.5°C	 27.1°C	 29.4°C	 29.8°C
Día 10		 31.1°C	 24.2°C	 27.1°C	 27.7°C
Día 11		 32.0°C	 28.0°C	 28.4°C	 29.4°C
Día 09	13:00 horas	 30.0°C	 28.0°C	 24.2°C	 23.3°C
Día 10		 37.2°C	 34.4°C	 33.5°C	 32.2°C
Día 11		 36.6°C	 30.8°C	 32.3°C	 30.2°C

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

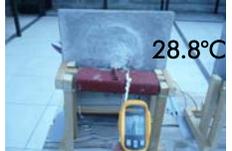
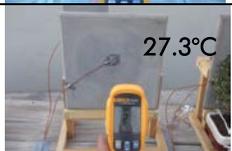
Día 09					
Día 10	15:00 horas				
Día 11					
Día 09					
Día 10	17:00 horas				
Día 11					
Día 09					
Día 10	19:00 horas				
Día 11					

Tabla 25: Mediciones a cada dos horas con termómetro infrarrojo en cada superficie de las placas.

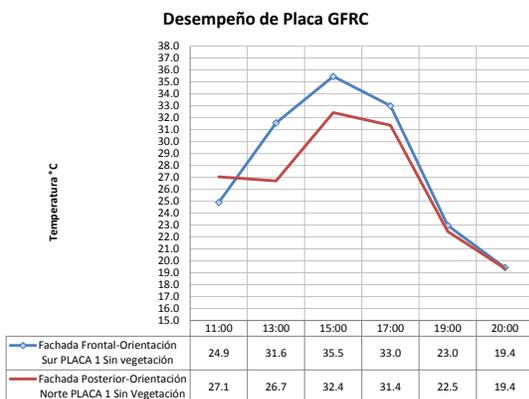
Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Anexo 4. Datos de Medición Superficial en Placas.

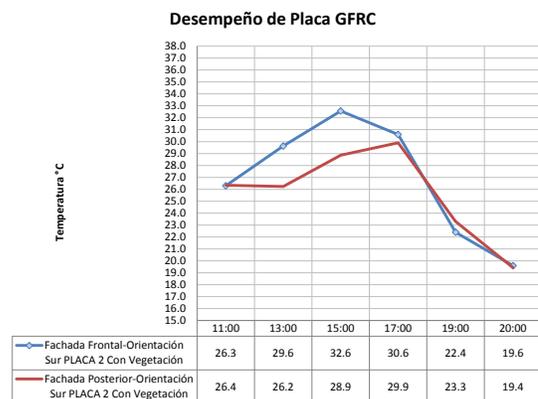
Día 9 de abril, 2014.

Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM.													
Latitud 19° 20' 01" N, 99° 11' 54" O													
Altitud 2268 msnm													
Fachada Frontal-Orientación Sur PLACA 1 Sin vegetación							Fachada Frontal-Orientación Sur PLACA 2 Con Vegetación						
Día	Hora	Temperatura °C				Día	Hora	Temperatura °C					
		Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio			Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio		
2014-04-09	09:00	0.0	0.0	0.0	0.0	2014-04-09	09:00	0.0	0.0	0.0	0.0		
2014-04-09	11:00	0.0	29.5	20.3	24.9	2014-04-09	11:00	0.0	27.1	25.5	26.3		
2014-04-09	13:00	32.5	30.0	32.2	31.6	2014-04-09	13:00	30.3	28.0	30.6	29.6		
2014-04-09	15:00	36.3	36.3	33.8	35.5	2014-04-09	15:00	32.5	33.8	31.4	32.6		
2014-04-09	17:00	33.6	32.5	32.9	33.0	2014-04-09	17:00	32.4	29.7	29.7	30.6		
2014-04-09	19:00	23.9	22.4	22.6	23.0	2014-04-09	19:00	24.5	21.4	21.3	22.4		
2014-04-09	20:00	19.9	19.5	18.9	19.4	2014-04-09	20:00	20.7	19.2	18.9	19.6		
Fachada Posterior-Orientación Norte PLACA 1 Sin Vegetación							Fachada Posterior-Orientación Sur PLACA 2 Con Vegetación						
Día	Hora	Temperatura °C				Día	Hora	Temperatura °C					
		Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio			Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio		
2014-04-09	09:00	0.0	0.0	0.0	0.0	2014-04-09	09:00	0.0	0.0	0.0	0.0		
2014-04-09	11:00	0.0	29.4	24.7	27.1	2014-04-09	11:00	0.0	29.8	22.9	26.4		
2014-04-09	13:00	29.2	24.2	0.0	26.7	2014-04-09	13:00	27.9	23.3	27.5	26.2		
2014-04-09	15:00	33.2	31.2	32.9	32.4	2014-04-09	15:00	29.8	27.0	29.8	28.9		
2014-04-09	17:00	31.6	29.7	32.8	31.4	2014-04-09	17:00	31.4	29.9	28.4	29.9		
2014-04-09	19:00	22.6	21.4	23.4	22.5	2014-04-09	19:00	23.8	22.6	23.5	23.3		
2014-04-09	20:00	19.7	18.5	19.9	19.4	2014-04-09	20:00	20.7	19.3	18.3	19.4		

Tabla 26: Mediciones del día 9 de abril a cada dos horas con diferentes equipos en cada superficie de las placas.



Gráfica 23: Comportamiento de placa GFRC sin vegetación, día 9.



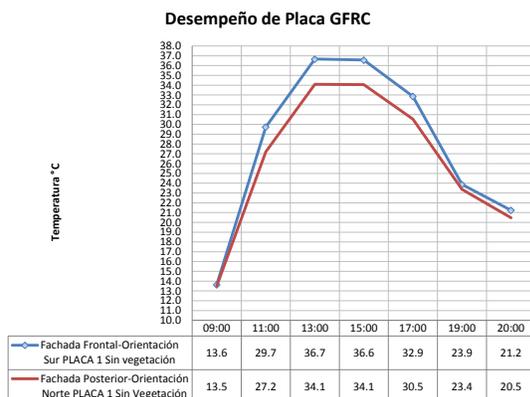
Gráfica 14: Comportamiento de placa GFRC con vegetación, día 9.

Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

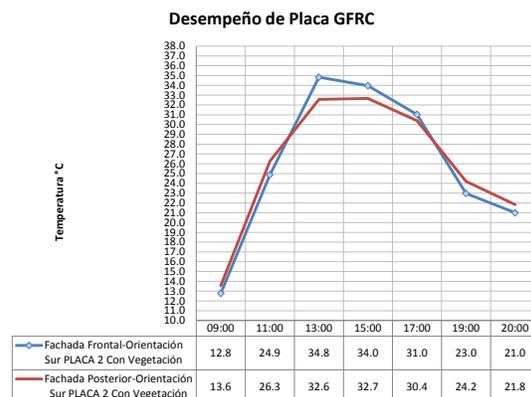
Día 10 de abril, 2014.

Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM. Latitud 19° 20' 01" N, 99° 11' 54" O Altitud 2268 msnm											
Fachada Frontal-Orientación Sur PLACA 1 Sin vegetación						Fachada Frontal-Orientación Sur PLACA 2 Con Vegetación					
Día	Hora	Temperatura °C				Día	Hora	Temperatura °C			
		Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio			Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio
2014-04-10	09:00	13.6	13.7	13.6	13.6	2014-04-10	09:00	12.9	12.6	12.8	12.8
2014-04-10	11:00	29.8	31.1	28.3	29.7	2014-04-10	11:00	27.3	24.2	23.1	24.9
2014-04-10	13:00	36.9	37.2	35.9	36.7	2014-04-10	13:00	35.3	34.4	34.8	34.8
2014-04-10	15:00	37.3	36.7	35.7	36.6	2014-04-10	15:00	35.2	33.5	33.2	34.0
2014-04-10	17:00	34.0	33.1	31.5	32.9	2014-04-10	17:00	33.7	28.5	30.9	31.0
2014-04-10	19:00	24.4	24.2	23.0	23.9	2014-04-10	19:00	24.7	22.8	21.4	23.0
2014-04-10	20:00	21.4	21.3	21.0	21.2	2014-04-10	20:00	22.2	20.8	20.0	21.0
Fachada Posterior-Orientación Norte PLACA 1 Sin Vegetación						Fachada Posterior-Orientación Sur PLACA 2 Con Vegetación					
Día	Hora	Temperatura °C				Día	Hora	Temperatura °C			
		Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio			Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica	Promedio
2014-04-10	09:00	14.5	13.1	12.9	13.5	2014-04-10	09:00	13.5	14.1	13.1	13.6
2014-04-10	11:00	27.7	27.1	26.8	27.2	2014-04-10	11:00	25.9	27.7	25.2	26.3
2014-04-10	13:00	34.2	33.5	34.6	34.1	2014-04-10	13:00	33.2	32.2	32.3	32.6
2014-04-10	15:00	34.0	33.6	34.6	34.1	2014-04-10	15:00	33.1	32.2	32.7	32.7
2014-04-10	17:00	31.2	30.1	30.3	30.5	2014-04-10	17:00	31.8	28.8	30.6	30.4
2014-04-10	19:00	23.8	23.0	23.3	23.4	2014-04-10	19:00	24.8	23.9	23.9	24.2
2014-04-10	20:00	20.9	20.1	20.4	20.5	2014-04-10	20:00	22.7	21.8	21.0	21.8

Tabla 17: Mediciones del día 10 de abril a cada dos horas con diferentes equipos en cada superficie de las placas.



Gráfica 25: Comportamiento de placa GFRC sin vegetación, día 10.



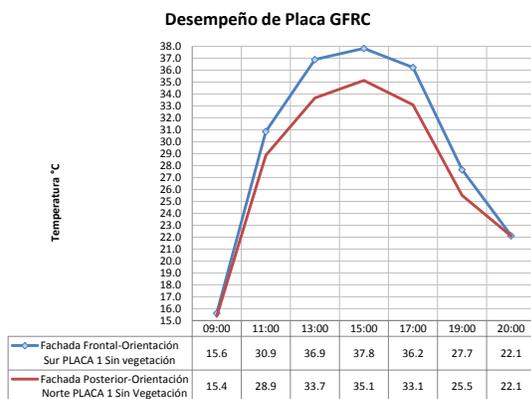
Gráfica 26: Comportamiento de placa GFRC con vegetación, día 10.

Día 11 de abril 2014.

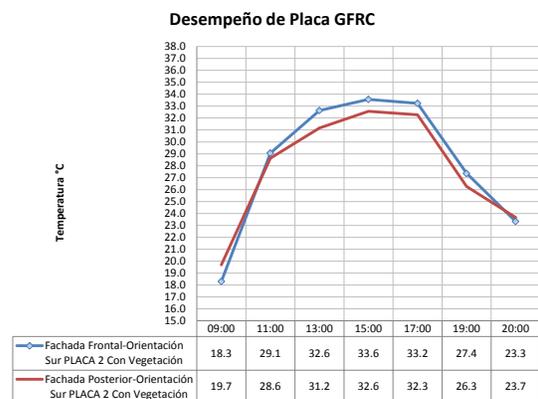
Desarrollo de un panel prefabricado como elemento constructivo para mejorar las condiciones térmicas en edificaciones

Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geofísica, UNAM.													
Latitud 19° 20' 01" N, 99° 11' 54" O													
Altitud 2268 msnm													
Fachada Frontal-Orientación Sur PLACA 1 Sin vegetación						Fachada Frontal-Orientación Sur PLACA 2 Con Vegetación							
Día	Hora	Temperatura °C				Promedio	Día	Hora	Temperatura °C				Promedio
		Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica					Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica		
2014-04-11	09:00	15.3	15.5	16.1	15.6	2014-04-11	09:00	17.0	19.6	18.3	18.3		
2014-04-11	11:00	30.5	32.0	30.1	30.9	2014-04-11	11:00	29.8	28.0	29.4	29.1		
2014-04-11	13:00	38.3	36.6	35.8	36.9	2014-04-11	13:00	36.3	30.8	30.8	32.6		
2014-04-11	15:00	39.9	37.0	36.6	37.8	2014-04-11	15:00	36.6	32.0	32.1	33.6		
2014-04-11	17:00	38.3	35.5	34.9	36.2	2014-04-11	17:00	34.9	32.4	32.4	33.2		
2014-04-11	19:00	28.4	27.3	27.3	27.7	2014-04-11	19:00	28.8	27.1	26.2	27.4		
2014-04-11	20:00	23.0	21.5	21.9	22.1	2014-04-11	20:00	23.9	23.1	23.0	23.3		
Fachada Posterior-Orientación Norte PLACA 1 Sin Vegetación						Fachada Posterior-Orientación Sur PLACA 2 Con Vegetación							
Día	Hora	Temperatura °C				Promedio	Día	Hora	Temperatura °C				Promedio
		Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica					Termómetro Digital	Termómetro IR	Cámara Termográfica		
2014-04-11	09:00	16.1	15.1	14.9	15.4	2014-04-11	09:00	18.0	21.2	19.9	19.7		
2014-04-11	11:00	29.2	28.4	29.0	28.9	2014-04-11	11:00	28.3	29.4	28.2	28.6		
2014-04-11	13:00	35.5	32.3	33.2	33.7	2014-04-11	13:00	32.9	30.2	30.4	31.2		
2014-04-11	15:00	36.3	33.3	35.8	35.1	2014-04-11	15:00	33.3	31.8	32.6	32.6		
2014-04-11	17:00	34.4	32.3	32.6	33.1	2014-04-11	17:00	33.5	31.4	31.9	32.3		
2014-04-11	19:00	26.6	24.9	25.0	25.5	2014-04-11	19:00	27.7	25.9	25.2	26.3		
2014-04-11	20:00	22.8	21.4	22.1	22.1	2014-04-11	20:00	24.2	23.7	23.1	23.7		

Tabla 28: Mediciones del día 11 de abril a cada dos horas con diferentes equipos en cada superficie de las placas.



Gráfica 27: Comportamiento de placa GFRC sin vegetación, día 11.



Gráfica 28: Comportamiento de placa GFRC con vegetación, día 11.