



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE ARQUITECTURA
CAMPUS I**



**SISTEMA MODULAR DE CUBIERTA NATURADA
PARA LOSAS DE CONCRETO ARMADO EN ZONAS CON CLIMA CÁLIDO-SUBHÚMEDO**

**PROYECTO TERMINAL
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN ARQUITECTURA Y URBANISMO**

PRESENTA:
ARQ. LAURA ISABEL CAL Y MAYOR MARÍN

DIRECTOR DE TESIS:
DR. GABRIEL CASTAÑEDA NOLASCO

SINODALES:
DR. GABRIEL CASTAÑEDA NOLASCO
DRA. TERESA DEL ROSARIO ARGUELLO MENDEZ
DR. RAÚL PAVEL RUIZ TORRES

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, 2013



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Facultad de Arquitectura



**COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS., MAYO DEL 2013.**

**MTRO. JOSÉ ALBERTO COLMENARES GUILLÉN
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA
DE LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHIAPAS
EDIFICIO.**

Con base en los acuerdos obtenidos en la Sesión Ordinaria del Comité de Investigación y Posgrado de esta Facultad efectuada el día 10 de septiembre del 2010, y en donde se nos asigna formar parte de la Comisión Revisora del Proyecto Terminal de Maestría denominado: **"Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido subhúmedo"** que para obtener el Grado de Maestría en Arquitectura y Urbanismo presenta la **C. Laura Isabel Calymayor Marín**, por este medio, y de acuerdo con la revisión realizada, nos permitimos informar a usted que otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO** de autorización de impresión del documento.

Lo anterior es con la finalidad de que se realicen los trámites y el examen correspondiente.

ATENTAMENTE

"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"

EL GRUPO DEL LA COMISION REVISORA


**DR. GABRIEL CASTAÑEDA NOLASCO
PRESIDENTE**


**DRA. TERESA DEL ROSARIO ARGUELLO MENDEZ
SECRETARIO**


**DR. RAUL PAVEL RUIZ TORRES
VOCAL**

C.c.p. Archivo/Expediente

Coordinación de Investigación y Posgrado

*Boulevard Belisario Domínguez, Km 1081, Colzada a Rectoría Sin Número,
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29030.
Tel: (981) 6 15-09-35, 61 5 4043, 61 54248
www.unach.mx*



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

Facultad de Arquitectura



**DIRECCION
TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS
OFICIO No. DIR/141/2013
MAYO DE 2013**

C. LAURA ISABEL CALY MAYOR MARIN
Candidata a Maestra en Arquitectura y Urbanismo
Facultad de Arquitectura-UNACH
Edificio.

Por este medio, informo a Usted que, después de haber sido revisado su Proyecto Terminal de Maestría denominado: **"SISTEMA MODULAR DE CUBIERTA NATURADA PARA LOSAS DE CONCRETO ARMADO EN ZONA CON CLIMA CÁLIDO SUBHUMEDO"**, por parte de la comisión revisora asignado para tal fin, los integrantes de la misma me han hecho llegar su voto aprobatorio y autorizan la impresión de este trabajo, bajo el formato que Usted decida, pero con atención a las normas mínimas de presentación con que cuenta esta Facultad y que en su oportunidad le fueron entregadas.

Con fundamento en lo anterior, esta Dirección a mi cargo le autoriza **PROCEDER A LA IMPRESIÓN DE SU DOCUMENTO**, que presentará como opción para obtener el Grado de Maestro en Arquitectura y Urbanismo.

A T E N T A M E N T E
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"

MTRO. JOSE ALBERTO COLMENARES GUILLEN
DIRECTOR



C.c.p. Archivo.
C.c.p. Expediente.

Agradecimientos

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Agradecimientos:

A Dios por ser mi guía en este y todos mis caminos, por demostrarme que no hay obstáculo demasiado grande ni sueño demasiado pequeño, a mis Abuelos Ariosto, Florecita y Chabe a quienes amo y admiro, que han sido un ejemplo de vida, a Papá y a Mamá quienes son todo para mí gracias por ser mis alas, por siempre confiar en mí, impulsarme al éxito y apoyarme en todas mis decisiones, a mis hermanos por inspirarme a ser un ejemplo para ellos, y a esas personas que saben que forman parte fundamental en mi vida que me hacen querer ser mejor cada día.

A mí amado abuelo Lic. Alberto Cal y Mayor Redondo que se nos adelantó en el camino tan solo me resta decir:

“Gracias por tanto y por ser siempre una fuente de inspiración, ojalá estés tan orgulloso de mí como yo de ti”.

"Pies para que los quiero, si tengo alas para poder volar" - Frida Kahlo-

Resumen.

Debido a la crisis ambiental que enfrenta el planeta y la generación de microclimas desfavorables en las ciudades ha surgido la necesidad de implementar acciones para contrarrestar los efectos negativos hacia el medio ambiente.

La presente investigación tiene como objetivo generar una estrategia pasiva para el mejoramiento térmico de la cubierta de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo especialmente orientado a la vivienda de interés social.

Se partió a partir de la hipótesis que afirma que el uso de la vegetación a nivel cubierta sirve como aislante y elemento de sombreado reduciendo las temperaturas al interior de la vivienda mejorando su comportamiento térmico y reduciendo el consumo energético al minimizar el uso de elementos mecánicos para el enfriamiento.

Para cumplir el objetivo de el desarrollo de una estrategia pasiva se realiza un proceso de adaptación tecnológica que da como resultado un prototipo "*contenedor verde*" para sistemas de naturación modular, con una carga muerta 75% menor a un sistema de naturación común, lo que la hace adaptable a todo tipo de cubierta debido a su baja incidencia sobre la estructura y al alcance de cualquier usuario ya que puede ser adquirido según sus posibilidades.

Además, apoyados en la climatología dinámica se realizó el proceso de evaluación en donde se demostró que se disminuye la temperatura superficial de la cubierta hasta 15°C, con la implementación de la estrategia, por consiguiente se cumple con el objetivo de mejorar su comportamiento térmico.

La investigación se va desarrollando en 6 apartados en los que se presenta la situación actual en la que se encuentra el objeto de estudio, la situación final, la confrontación de las situaciones que da como resultado los objetivos, así como la metodología empleada, el proceso de diseño del módulo "*contenedor verde*", su evaluación y resultados obtenidos y finalmente las conclusiones generadas.

Abstract.

Due to the environmental crisis facing the planet and the generation of unfavorable microclimate in cities has become necessary to implement actions to counteract the negative effects to the environment.

This research aims to generate a passive strategy to improve thermal cover areas with reinforced concrete in sub-humid warm climate especially geared to income housing.

We started from the hypothesis that the use of vegetation cover at reduced temperatures inside the home to improve its thermal performance and reducing energy consumption.

To meet the objective of developing a passive strategy is through a process of technological adaptation that results in a module "green container" for integrated modular naturation with a dead load 75% less than a system of common naturation, which makes it adaptable to all types of housing because of its low impact on the structure and scope of any user and can be purchased according to their means.

In addition, supported by the dynamic climatology was performed in the evaluation process which showed that lowering the surface temperature of the cover up to 15 ° C, with the implementation of the strategy, thus complying with the objective of improving its thermal behavior .

The research is being developed in 6 sections in which we present the current situation which is the object of study, the final situation confronting situations resulting in the objectives and methodology, the process module design "*green container*", evaluation and results and finally the conclusions generated.

Introducción

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Introducción.

El desarrollo del presente trabajo, responde al proyecto terminal para la obtención del grado en la Maestría de Arquitectura y Urbanismo, teniendo un enfoque fundamentado en los pilares de la sustentabilidad.

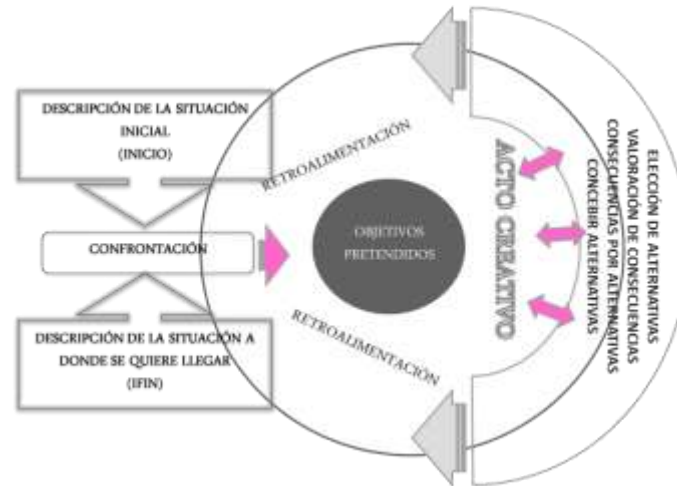
La presente investigación, surge de la necesidad de implementar mejoras en el comportamiento térmico de las cubiertas de concreto armado debido a las altas temperaturas registradas en viviendas con clima cálido sub-húmedo y pretende brindar como alternativa, una estrategia pasiva para contrarrestar dicha necesidad.

Como consecuencia, este proyecto presenta el proceso de adaptación tecnológica de un prototipo "*contenedor verde*" el cual en conjunto crea un sistema de naturación aplicable como estrategia pasiva para mejorar el comportamiento térmico de la cubierta de concreto armado, ya que logra disminuir las ganancias térmicas en la cubierta, en zonas con clima cálido sub-húmedo y especialmente orientado a la vivienda masiva de interés social.

A continuación, se describe el proceso experimental y la evaluación de la adaptación tecnológica realizada en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

El presente documento se desarrolla en 6 apartados arrojados por la metodología aplicada en su desarrollo, es importante comenzar por la descripción breve de dicha metodología para poder comprender el orden de la investigación; la metodología comienza por la descripción de la situación inicial del problema, seguido de la descripción de la situación a donde se quiere llegar y posteriormente se realiza la confrontación de ambas, en la cual se arrojan las deficiencias y necesidades por alcanzar, que serán traducidos como objetivos de la investigación.

Una vez definidos los objetivos de investigación comienza la retroalimentación de la información con el investigador para dar paso al acto creativo en el cual se crearan una serie de alternativas y seleccionar la idónea para cubrir una necesidad.



Esquema de diseño aplicado al desarrollo de la propuesta de adaptación del sistema de techo para vivienda social. Retomado en su totalidad de: Castañeda Nolasco (2010), basado en Baxter, 2005.

Descripción de la situación inicial, en la que se encuentra el objeto de estudio y el contexto que lo rodea, evidenciando el impacto del problema que representa el uso de cubiertas de concreto armado en zonas con tipo de clima cálido-subhúmedo. Así también, la pertinencia de la implementación y el uso de estrategias pasivas que mejoren el comportamiento térmico de las mismas.

Capítulo 01 situación final: que comprende las teorías en las que se fundamenta la investigación, así como el estado del arte del objeto de estudio y los conceptos clave para la comprensión del tema, llegando así a la confrontación entre la situación ideal y la situación condicionada, que da como resultado los objetivos del presente trabajo.

Capítulo 02 Metodología: Ahora bien, se describe la metodología de investigación la cual detalla el proceso que se llevó a cabo para desarrollar la investigación.

Capítulo 03 Diseño: Por otro lado, se muestra el esquema de diseño que se siguió para la obtención y desarrollo de la propuesta del módulo "*contenedor verde*".

Capítulo 04 Evaluación y Resultados: Llegamos pues, a la evaluación del módulo y el análisis de los resultados obtenidos, explicando con claridad los fenómenos ocurridos en el proceso experimental, arrojando una interpretación fundamentada de la viabilidad y funcionalidad de dicho sistema.

Finalmente, presentamos las conclusiones y recomendaciones que se lograron a partir de la investigación.

Índice

UNACH
M.A.U

**Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con
clima cálido-subhúmedo.**

Contenido:

Portada	Pág.
Agradecimientos	
Introducción	
Índice	
Descripción de la situación Inicial	1
Capítulo 01.-Descripción de la situación final	11
1.1. Marco teórico	11
1.1.1.- Arquitectura bioclimática	15
1.1.2.- El clima en la arquitectura	17
1.1.3.- Efectos del clima en el hombre	18
1.2. Marco referencial	19
1.2.1.- Estrategias bioclimáticas para evitar ganancias térmicas	19
1.2.2.- La vegetación en el objeto arquitectónico como agente regulador	20
1.2.3.- Cubiertas naturadas en el tiempo	22
1.2.3.1.-Tipologías	23
1.2.4.- Naturación en México	27
1.2.5.- Ventajas de la cubierta naturada	30
1.3. Marco conceptual	32
Confrontación de las 2 situaciones	41
Definición de objetivos pretendidos	43
Hipótesis	44
Capítulo 02.-Metodología de la investigación	45
2.1. Metodología de investigación	45
2.1.1. Recopilación de información	45
2.1.2. Procesamiento de la información	46
2.1.2.1.-Pasos de la metodología	46
2.1.3. Análisis de la información	49
2.1.3.1. Análisis climático	49
2.1.3.2. Método de diseño	52
Capítulo 03.-Diseño	55
3.1. Concepción de alternativas	55
3.1.1.-Confrontación de los sistemas de naturación	55
3.1.2.-Características que no pueden modificarse	59
3.1.3.-Proceso de adaptación tecnológica	60
3.2. Consecuencias por alternativas	64
3.3. Valoración de las consecuencias	64
3.4. Selección de alternativa	65
3.5. Desarrollo de la propuesta	67
3.5.1. La forma	67
3.5.2. Materiales	71

3.5.3. Instalación	73
3.5.4. Funcionamiento	77
3.5.5. Especificaciones técnicas	78
Capítulo 04.-Evaluación y resultados	82
4.1. Definición de células de evaluación	83
4.1.1. Condicionantes y limitantes	83
4.1.2. Medidas	83
4.1.3. Materiales	84
4.2. Evaluación de células	85
4.3. Interpretación de resultados	91
4.3.1. Descripción de los fenómenos ocurridos	92
Conclusiones, limitaciones y recomendaciones	96
Bibliografía	100
Anexos	
Listado de tablas y cuadros	

Situación inicial

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Descripción de la situación inicial.

Antecedentes.

La degradación del ambiente y la intervención humana son, hasta el momento 2 elementos correlacionados. El desperdicio de agua y energía entre otros, son prácticas comunes en las ciudades sin importar su tamaño, las cuales continúan modificando y alterando el medio natural (CONAFOVI, 2006).

Según Fernández (2007) considera que tanto el calentamiento global como el cambio climático son de suma importancia e implican o representan una amenaza para el medio ambiente, con impactos negativos sobre los seres humanos; así mismo, expone que la concentración de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son generadas por las actividades humanas, y conducen a un cambio climático.

El fenómeno del efecto invernadero tiene su base en una envoltura gaseosa compuesta por dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno, oxígeno y otros gases alrededor del globo terráqueo. La tierra recibe la radiación solar y emite al espacio una radiación que retorna parcialmente a la tierra como consecuencia de los gases causantes de dicho fenómeno afectando directamente en el microclima de las ciudades. Se estima que la temperatura se ha elevado, aproximadamente medio grado centígrado en los últimos 100 años, y de continuar podría agravarse el fenómeno del cambio climático. (CONAFOVI, 2006)

Indicadores como los que presenta Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI, 2008) lo demuestran, ya que en el último siglo, las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera se han incrementado en más de un tercio, y con ello su capacidad de contener en la tierra el calor solar; dicho incremento en la temperatura con proyecciones al siglo XXI traería consecuencias fatales al medio ambiente.

México sufre, palpablemente los efectos del calentamiento global, tales como la modificación de microclimas, incremento de las temperaturas medias, desajustes en los niveles de precipitación; así mismo enfrenta condiciones preocupantes de erosión de suelos, escasez de agua, contaminación atmosférica y de mantos, agotamiento de la energía fósil, deforestación, desertificación y cambios en el uso de suelo. Estos fenómenos guardan una estrecha relación con la expansión y el crecimiento de las ciudades y particularmente con la edificación de la vivienda. (CONAFOVI, 2006)

Además, Capelli (2001) menciona que las ciudades son las responsables de un 60% a 80% de las emisiones de GEI, de acuerdo al estudio de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2008); según (CONAVI, 2008) :

“México en 2002 emitió 643 millones de toneladas de CO₂ equivalente, correspondiente a 1.6% de las emisiones mundiales totales, lo que lo hace el decimosegundo emisor más importante del mundo”.

Otro fenómeno resultante de las emisiones de GEI es la isla de calor, que puede definirse como:

“exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica¹” (CAPELLI, 2001).

Castañeda Nolasco (2007), concuerda con este fenómeno ya que afirma que debido a la reducción de la superficie vegetal por el incremento en la construcción de edificaciones de distinta índole, se genera un aumento en la temperatura del microclima en dichas zonas de la ciudad, manifestándose en las edificaciones particularmente, debido al almacenamiento de energía radiante durante el día y la liberación de la misma por la noche.

Con ello entendemos, que la temperatura de la ciudad está en función de la temperatura del aire producida por el efecto natural de la radiación solar y por el resultado de los diferentes intercambios energéticos que se producen en la misma (RIVERO, 1998).

Lo anterior hace fundamental la participación de las ciudades para mitigar las emisiones de GEI, adoptando estrategias para reducir el cambio climático (MORILLÓN, 2006).

En México, las principales fuentes de GEI son: la combustión de combustibles para la producción de energía (31.7%), el sector forestal (23.4%), el sector transporte (14.5%), los desechos (8.9%), los procesos industriales (8.2%), la agricultura (8.1%) y otros (7.2%) (INE, 2004).

¹ Proceso de degradación del relieve y subsuelo debido a la acción humana. (LAROUSSE, 2011)

Debido a que el porcentaje mayor se encuentra en la producción de energía, se convierte en un foco rojo para la optimización de dicho recurso en todas las áreas de oportunidad y en nuestro caso, en arquitectura y urbanismo.

La vivienda.

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006) la vivienda es un componente básico para el desarrollo urbano, la considera como un ente delimitador y facilitador de un conjunto de funciones específicas así como el bienestar, protección y seguridad del individuo.

La vivienda se relaciona principalmente con las emisiones de GEI derivadas de la producción de energía eléctrica.

Como consecuencia, para CONAVI (2008) la vivienda constituye un factor clave para reducir las emisiones de GEI causantes del calentamiento global, además su emplazamiento, diseño arquitectónico y tecnología aplicada, determinan no sólo el carácter de las ciudades, sino también sus condiciones de sustentabilidad.

En nuestro país:

“La vivienda contribuye con aproximadamente el 8% de las emisiones nacionales de CO₂, además de ser un elemento fundamental en la estructura de demanda energética, consumiendo una cuarta parte de la electricidad total”.

En cifras Sedesol (2009) sostiene que la vivienda consume un 19% del consumo energético del país; además, el incremento demográfico y la creciente urbanización del país son responsables de importantes impactos ambientales, tanto por el consumo energético directo en la vivienda, como por su contribución a la demanda de electricidad e hidrocarburos. Todos estos elementos convierten a la vivienda en un elemento clave para la planeación energética del país, ya que por ende es responsable de la necesidad de construir nuevas plantas para la generación de electricidad, y esto involucra importantes impactos ambientales, tales como la contribución al cambio climático global por emisión de GEI, pérdida de diversidad ecológica por la inundación de áreas considerables, entre otros efectos (CONAFOVI, 2006).

Con base a los datos anteriores, la nueva dimensión climática en las políticas de vivienda implica satisfacer la demanda habitacional de una manera ambientalmente sustentable, incorporando elementos arquitectónicos y tecnológicos de alta eficiencia energética, y por tanto capaces de abatir las emisiones de GEI (CONAVI, 2008).

El factor principal en el consumo de energía de un edificio es la temperatura interior; de acuerdo con Morillón (2006) si una vivienda no se emplaza, diseña y construye con materiales que respondan favorablemente a las condiciones climáticas del contexto, estará condicionada a un consumo energético excesivo afectando directamente la economía, la salud del habitante y el medio ambiente que lo rodea (CONAFOVI, 2006).

El aumento en el uso de energía se debe a la necesidad de climatizar el ambiente, la elevación en el consumo de energía se relaciona con tres factores: el clima del lugar, la ineficiencia tecnológica y como se ha mencionado el diseño inadecuado de la vivienda.

Para ahorrar energía en los sistemas de climatización es necesario adecuar la envolvente de la vivienda, con la finalidad de mejorar su comportamiento térmico, lo cual puede lograrse con base en criterios bioclimáticos (CONAFOVI, 2006).

En México la cubierta juega un papel dominante en el balance térmico de la edificación, ya que es uno de los componentes con mayor ganancia térmica en inmuebles de 1 a 2 niveles, además como se menciona en el párrafo anterior, si sus materiales no son adecuados al medio, el calor pasará por radiación a su cara interior y de allí a sus ocupantes.

Dicho lo anterior es importante mencionar el bioclima nacional, según el ATLAS BIOCLIMÁTICO DE LA REPÚBLICA MEXICANA realizado por Morillón (2005), muestra calor en casi todo el territorio nacional durante más de 7 meses, destacando en el sureste, Chiapas y Yucatán, donde solamente en los meses de diciembre y enero se percibe un pequeño cambio que puede detonar frío.

“Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, se localiza en una zona tropical con lluvias en verano, su tipo climático es AW, Calido-Subhumedo, por lo cual gran parte del año se viven altas temperaturas durante el día, registrándose en casos extremos, hasta 42°C” (MORILLÓN, 2005).

Problemática.

La ciudad de Tuxtla Gutiérrez, ha presentado un crecimiento desmedido y desordenado, sustituyendo en gran medida la capa vegetal por concreto hidráulico, principalmente en vialidades y edificaciones.

La mayoría de las cubiertas de las viviendas está constituida a base de concreto armado, generando un ambiente térmico inadecuado; provocando temperaturas mayores a los 35°C sobre las cubiertas como efecto de la radiación y por ende genera condiciones y efectos negativos directamente en la salud y economía del usuario.

A continuación se explican a detalle los fenómenos causantes de los efectos negativos mencionados.

Comportamiento Térmico.

Desde la dimensión del comportamiento térmico, podemos afirmar que en Tuxtla Gutiérrez, según Castañeda (2007) la cubierta de la vivienda es construida, hasta en un 71% de los casos con una placa de concreto armado, generalmente de 10 cm. de espesor fundido monolíticamente en el lugar (INEGI, 2005), ya que el sector social exige la utilización de concreto y acero en el techo, atribuible al concepto de seguridad y durabilidad a través del tiempo, sin darse cuenta que están generando efectos negativos en su salud y en el medio ambiente que los rodea.

El fenómeno actúa de la siguiente manera; la energía radiante del Sol proporciona energía calorífica, la cual es absorbida por la superficie de la envolvente arquitectónica, esta radiación es transformada en calor lo que provoca un incremento de temperatura en el interior del objeto arquitectónico, generando incomodidad en los usuarios de dicho espacio. (OLGYAY, 1998)

Según el estudio realizado por Castañeda Nolasco (2007) :

“En el periodo de primavera, un techo de concreto armado llega a alcanzar una temperatura superficial de 45°C, cuando la temperatura del aire exterior es de 37°C, y en edificios de 1 a 2 niveles la temperatura del aire interior llega a 35° C, manteniéndose dicha temperatura durante 12 horas por arriba de los 30° C a partir del medio día, temperatura que puede considerarse como límite para que el ser humano no sufra problemas en su metabolismo por estrés térmico, considerando que la temperatura de la piel se mantiene entre 31° y 34° C” (AULICIEMS & SZOKOLAY, 1999) citado por (CASTAÑEDA NOLASCO, 2007).

Con base en los datos mencionados, podemos afirmar que una cubierta de concreto armado no es adecuada para el tipo de clima AW Cálido-Subhúmedo, ya que puede generar diversos efectos negativos en la salud del individuo.

Afectaciones negativas en el usuario.

La temperatura interna del cuerpo debe mantenerse entre los 36.5°C y 37°C, a su vez la temperatura del ambiente debe ser inferior a la temperatura de la piel para que esta disipe el calor. Cumpliendo con las características mencionadas, se conforma una zona de confort térmico, garantizando la salud física del usuario. (RODRIGUEZ, 2004)

Se cita por diferentes autores, Auliciems y Szokolay (1999), Vecchia (1997), Mondelo (1999), Castañeda (2007), el concepto de estrés térmico; Se define *estrés térmico* a:

“la causa que provoca en el individuo el efecto psicofisiológico que se denomina tensión calórica”.

En el caso de la vivienda, Mondelo (1999) expone que, el estrés térmico se produce cuando la temperatura de la cubierta supera los 30°C, ya que está aportando calor a los habitantes quienes al obtener dicha ganancia térmica tienen como consecuencia stress térmico, puesto que para lograr el balance térmico del cuerpo se producen una serie de fenómenos mediante los cuales el cuerpo gana o pierde calor.

El cuerpo está en equilibrio cuando la sumatoria de las ganancias y pérdidas es igual a cero. Si las ganancias de calor son mayores que las pérdidas o lo inverso, el organismo pone en marcha una serie de mecanismos autorreguladores de defensa natural para mantener la temperatura interna dentro de su intervalo natural, lo cual implica una demanda energética sobre el individuo que constituye una sobrecarga provocando una tensión térmica.

Desde el punto de vista fisiológico la tensión térmica puede provocar: deshidratación, síncope de calor con la pérdida del conocimiento, debido a un largo período de inmovilidad en ambientes calurosos, agotamiento por deshidratación y pérdida de sal, náuseas, vómitos. Así mismo puede tener efectos en el sistema cardiovascular (hipotensión, malestar general, lividez, dolores de cabeza, taquicardia, etcétera), en sector neurológico (vértigos y desorientación), golpe de calor (pérdida súbita del conocimiento, piel seca y caliente, incremento de la temperatura interna hasta más de 40 °C, convulsiones y estado de coma).

Por lo tanto, en la medida que el cuerpo, para lograr su equilibrio térmico, necesite realizar menor cantidad de regulaciones térmicas para adaptarse a un medio específico, más se acerca a una zona de bienestar térmico, donde el mayor porcentaje de personas manifiestan sentirse bien.

Sin embargo, como lo menciona Castañeda Nolasco (2007) la zona de confort térmico, se encuentra directamente relacionada con los efectos psicológicos del organismo, es decir, el problema no se resuelve alcanzando la temperatura de la zona de confort mediante la utilización de mecanismos de climatización artificial; ya que la cubierta seguirá disipando energía calorífica al usuario manteniéndolo en estrés térmico (aún cuando psicológicamente se siente en estado de confort) debido a la cantidad de energía radiante que absorbe el concreto durante el día.

En conclusión, se ha mencionado que la causa principal del Calentamiento Global son las excesivas emisiones de Gases de Efecto Invernadero, las cuales son provocadas por el consumo energético excesivo de las ciudades, siendo la vivienda gran contribuidor a dichos gases derivado de la producción de energía eléctrica para su consumo; este consumo energético excesivo está directamente relacionado con el fenómeno isla de calor ya que la sustitución de la capa vegetal por un sustrato impermeable hace que se genere un microclima interno.

Además, se señala que, la cubierta más utilizada en las viviendas, es la cubierta de concreto armado, la cual se ha demostrado no responde térmicamente ante las condiciones climáticas que presenta gran parte del país; dichos aumentos de temperatura generados por la radiación de la cubierta al interior del inmueble generan un incremento en la demanda energética para alcanzar el confort humano.

Al generar una dependencia del consumo energético para alcanzar el confort térmico; se repercute directamente sobre el medio ambiente debido a la cantidad de emisiones de GEI que esta acción representa, sumándose a esto la serie de fenómenos que están ligados con el cambio climático y sus implicaciones negativas al Ambiente Global.

Con base a los indicadores presentados, es necesario implementar mejoras en el comportamiento térmico de la vivienda, las cuales deberán ser ambientalmente sustentables, adaptables al medio físico natural, brindar condiciones de confort así como su viabilidad adquisitiva en la región, para lograr una apropiación y como consecuencia de esto su repetición en la zona.

Teniendo en cuenta la situación actual de las cubiertas existentes, tomándola como parámetro para el diseño de dichas alternativas ya que únicamente atacando el fenómeno de manera masiva, se podrá lograr un cambio considerable sobre el ambiente.

Justificación.

Se han expuesto los indicadores concisos de las distintas instituciones, sobre el inminente sobrecalentamiento global, el cual ha repercutido de manera significativa en las diferentes ciudades conurbadas.

El microclima en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se ha visto seriamente afectado por el comportamiento térmico, al crecer de manera desmedida y sin control alguno en el desarrollo urbano.

Donde se ha podido apreciar el deterioro de la capa vegetal, la cual ha sido sustituida en su gran mayoría por la capa asfáltica, ocasionado por el desarrollo de unidades habitacionales en las cuales no se ha considerado alguna alternativa que limite el sobrecalentamiento de las losas de concreto armado.

Ahí la importancia de llevar a cabo medidas que nos permitan de alguna manera mejorar este comportamiento térmico y de ser atacado en forma masiva para lograr impactar sobre el ambiente.

Es importante mencionar que existen distintos organismos internacionales, que con el afán de mitigar el sobrecalentamiento global, proporcionan apoyos crediticios mayores a este tipo de proyectos en beneficio del medio ambiente.

Es evidente la necesidad de implementar estrategias que modifiquen la situación actual en la que se encuentra el medio ambiente; ya que de continuar con el consumismo excesivo las consecuencias podrían ser mortales.

Así mismo, Jáuregui et al. (1996), apoyados en las proyecciones demográficas de Aguilar (1996), concluyen que durante el verano de la segunda mitad del siglo XXI, 49 millones de mexicanos que ahora no utilizan sistemas de aire acondicionado, los requerirán para estar en condiciones de confort entre media mañana y media tarde (TEJEDA & RIVAS, 2003).

Y según los datos del INEGI para el año 2020 Tuxtla Gutiérrez contará con aproximadamente 1,000,000 (un millón) de habitantes (TEJEDA & RIVAS, 2003).

“Esa información implica que para el verano el consumo energético por climatización de edificios habrá de triplicarse en comparación con la actualidad. Esto quiere decir que Tuxtla Gutiérrez requerirá un incremento en sistemas de enfriamiento de un 100%” (TEJEDA & RIVAS, 2003).

Aunque las proyecciones presentadas parecen un tanto extremistas, permiten hacer conciencia acerca de las afectaciones que esto provoca en el comportamiento térmico de las ciudades y de cómo impacta en el ambiente global.

En definitiva, el crecimiento demográfico en Tuxtla Gutiérrez han influido en parte, en el aumento de las temperaturas de la ciudad debido al fenómeno llamado “Isla de Calor”.

Además, la población habita bajo un espacio en donde no encuentra el confort adecuado, debido a los materiales con los que se construyen las cubiertas; lo cual en lugar de protegerlos contra las altas temperaturas, las aumenta, desencadenándose así una serie de afectaciones negativas sobre el habitante.

Carrasco (2010) menciona, en la vivienda, el componente con mayor ganancia térmica es la cubierta debido al alto nivel de radiación solar que recibe durante muchas horas.

En la medida en que se protege el punto más vulnerable del objeto arquitectónico, se minimizan los flujos energéticos entre ambiente exterior e interior, contribuyendo a una mejora en las condiciones de confort.

Mejorando el comportamiento térmico en la cubierta de la vivienda estaríamos minimizando el 19% del consumo energético nacional, lo cual está directamente relacionado con las emisiones de GEI, reduciendo por su parte las mismas.

Llevando esta situación a una escala global, los beneficios serían mayores, atacando directamente el calentamiento global.

Ante la necesidad que sufre la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, por la implementación de mejoras en el comportamiento térmico de la vivienda, debido a las temperaturas que se presentan en la zona climática en la que se encuentra estando fuera de la zona de confort del usuario, el objetivo de esta investigación se hace viable ya que representaría una alternativa de solución pasiva para la región ante los distintos fenómenos mencionados.

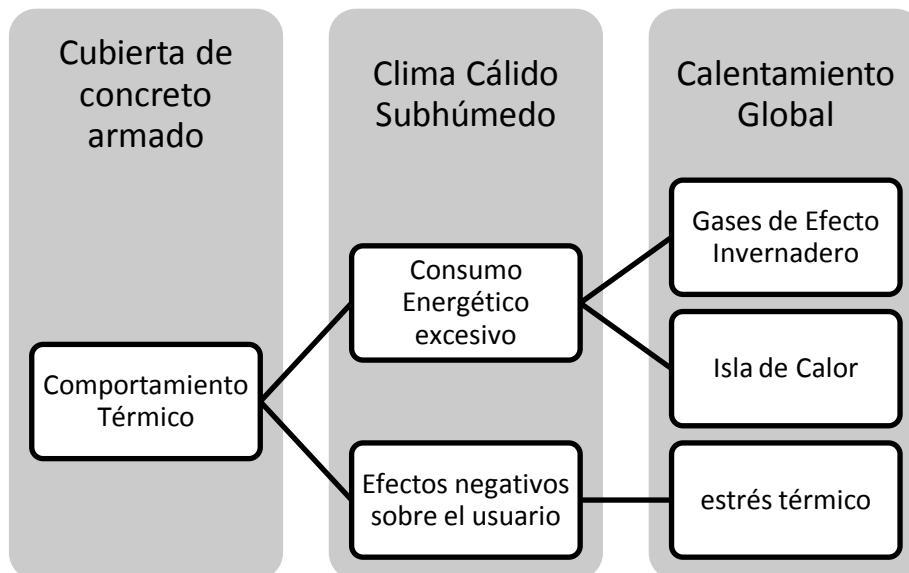
A continuación se presenta la interpretación de la problemática descrita anteriormente en 2 tipos de organizadores gráficos, el cuadro 1 (V de Gowin), se exponen los puntos desde los dominios metodológico y conceptual en los cuales se hace referencia al problema, sus causas y sus efectos, lo que nos hace llegar a una conclusión acerca del fenómeno que se encontró en la problemática.

En el cuadro 2 (Mapa conceptual) se tocan los puntos generales que engloban la problemática en el contexto, comenzando de lo particular hasta llegar a lo general, jerarquizando las causas y efectos que el fenómeno va provocando y la cadena de efectos negativos que dicho fenómeno genera.

V de Gowin – Afectaciones negativas del uso de las cubiertas de concreto armado en clima cálido-subhúmedo.



Mapa conceptual – Causas y efectos del comportamiento térmico de la cubierta de concreto armado en clima cálido-subhúmedo.



Capítulo 01 – Situación Final

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Descripción de la situación final.

Este capítulo presenta información acerca de las Teorías del desarrollo sustentable en las cuales está enmarcada la presente investigación, la relación entre el ser humano, el espacio Habitable (Arquitectura) y el Medio Ambiente; los efectos que provocan uno sobre el otro al estar directamente relacionados, lo que nos da un entendimiento acerca de las acciones y estrategias que se deben adoptar para lograr la integración de un todo sustentable, ya que, las consecuencias de un consumismo excesivo podrían ser fatales.

1.1. Marco teórico.

La sustentabilidad es una teoría que surge como resultado de las preocupaciones acerca de la crisis ambiental, comenzaron a partir de 1950, ya que el medio ambiente ha sido siempre esencial para la vida, además el desarrollo de la humanidad va de la mano con los recursos naturales que ofrece la tierra, es por ello que la explotación irracional de dichos recursos amenaza la existencia de la vida misma (PNUMA, 2002).

Aunque las preocupaciones acerca del ambiente datan a partir de los años 50, la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano celebrada en Estocolmo en 1972 fue el evento que convirtió al ambiente en un tema de relevancia a nivel internacional (STRONG, 1999).

Por consiguiente en la Conferencia Mundial de Naciones Unidas sobre Asentamientos Humanos, celebrada en Vancouver, Canadá 1976, se decidió actuar comprometidamente a favor de preservar y fortalecer la calidad de vida mediante prácticas de Desarrollo Sustentable (BARRERA, 2003).

Sin embargo fue hasta 1987 con el Informe Brundtland, mejor conocido como Nuestro Futuro Común, en donde se define al desarrollo sustentable como:

“aquél que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras” (BARRERA, 2003).

La preocupación por la insostenibilidad del modelo económico hacia el que nos ha conducido la civilización consumista industrial (NAREDO, 1996) generó que el desarrollo sustentable se constituyera como un **Modelo de Producción Racional**, cuyo objetivo central es la preservación de los recursos naturales, con base en tres aspectos conceptuales:

- **el bienestar humano** (salud, educación, vivienda, seguridad y protección de los derechos de la niñez)
- **el bienestar ecológico** (cuidado y preservación del aire, agua y suelos)
- políticas públicas en materia de población, equidad, distribución de la riqueza, desarrollo económico, producción y consumo y ejercicio de gobierno (BARRERA, 2003).

Esto define a la sustentabilidad por 3 pilares que se retroalimentan: el social, el económico y el **ambiental**. Cada uno de estos pilares debe estar en igualdad de condiciones fomentando un modelo de crecimiento sin exclusión (social), equitativo (económico) y que resguarde los recursos naturales (ambiental) (MARTINO, 2004).

Con base en este modelo un nuevo enfoque cultural se extiende por todo el mundo presentando como primordial objetivo la recuperación de la relación profunda entre el hombre y el medio ambiente y estableciendo como consecuencia de un EQUILIBRIO ECOLOGICO que devuelva sus condiciones de habitabilidad a nuestro planeta (ASIAIN, 1994).

Aunque, el alcance del objetivo del desarrollo sustentable requiere de la participación multi e interdisciplinar, desde cada rama de la ciencia se ha intentado explicar cómo desde ella podría contribuirse al logro de tal objetivo (BRUNDTLAND, 1987).

A partir de este momento, en la Arquitectura se inicia la búsqueda por lograr un mejor desempeño del ejercicio profesional mucho más comprometido con el medio ambiente (RAMIREZ, 2009).

La crisis energética actual es ocasionada por el *Efecto Invernadero o Calentamiento Global* debido a que *“el aumento de las concentraciones de CO₂ y de otros gases que atrapan la energía electromagnética emitida por la superficie de la tierra y con ello su capacidad de contenerla, Las partículas en suspensión generan un aumento en la temperatura debido a su capacidad de absorción de calor”* (ÁLVAREZ GARCIA).

Otro de los efectos del calentamiento global en las ciudades es el fenómeno *Isla de Calor*, que ha sido el más estudiado de todos los procesos asociados al fenómeno de urbanización y resulta, por tanto, el mejor conocido en la actualidad.

La isla de calor puede definirse como el *“exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica”* e indica que las ciudades son en general, más cálidas que su periferia (CAPELLI, 2001).

Los edificios, calzadas y cubierta vegetal presentan un comportamiento desigual con respecto a la insolación, determinando así una diferenciación espacial en las pérdidas y ganancias de calor. La forma e intensidad de este fenómeno varía con el tiempo y el espacio, siendo un resultado de las características meteorológicas, geográficas y urbanas (CAPELLI S. D., 2001) .

El comportamiento térmico de la ciudad es distinto del rural por la diferente respuesta de la cobertura urbana ante la radiación solar. La temperatura del espacio urbano es función de la temperatura del aire producida por el efecto natural de la radiación solar y el resultado de los diferentes intercambios energéticos que se producen en el mismo (CAPELLI S. D., 2001).

Esto nos lleva a hablar del gasto energético y las afectaciones que genera el consumo de energía en las ciudades así como en el medio ambiente.

La energía, es la capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, etcétera.

Es, al mismo tiempo, una solución y un problema para el desarrollo sustentable; sin duda es útil, pero también es una de las principales fuentes de contaminación del aire y además provoca otros daños a la salud del hombre y al medio ambiente (CONAFOVI, 2006).

Las preocupaciones de los actuales sistemas energéticos se concentran en los efectos ambientales como el efecto invernadero y el cambio climático.

El consumo de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón) empleados para satisfacer las demandas de energía de los diversos sectores ha ocasionado el incremento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera y, a su vez, esto ha aumentado la retención de calor y la temperatura global del planeta (CONAFOVI, 2006).

La concentración de CO₂ es responsable del 60% del efecto invernadero, y cada día aumenta más, por la utilización de combustibles de origen fósil (CONAFOVI, 2006).

El cambio climático global del siglo XXI se hace cada vez más evidente y, frente al peligro que representa en el ámbito internacional, la opinión del sector público empieza a tomar conciencia de la necesidad de proteger el entorno natural. Ante los problemas planteados al respecto en las cumbres internacionales, ha surgido la propuesta de crear un urbanismo y una arquitectura que respeten el entorno (CONAFOVI, 2006).

La arquitectura sustentable surge como respuesta a esta necesidad; todo proyecto de arquitectura inmerso en lo sustentable debe saber preservar el medio ambiente usando y optimizando los recursos naturales y energéticos; debe ser factiblemente económica y socialmente responsable; es decir, lo sustentable va mas allá de la arquitectura, es algo integral (BRAVO, 2006).

La International Union of Architects (IUA) y la American Institute of Architects (AIA), definen la arquitectura sustentable de la siguiente manera:

“El diseño sustentable integra consideraciones de eficiencia en el uso de recursos y de la energía, ha de producir edificios sanos, ha de utilizar materiales ecológicos y debe considerar la sensibilidad estética que inspire, afirme y emocione...” (BRAVO, 2006).

En esta dirección apunta el modelo de arquitectura sustentable que se pretende incorporar en el desarrollo de la nueva cultura viable, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Utilización de los recursos ambientales de manera sustentable.
- Análisis de la variedad cultural.
- Disminuir Impactos Ambientales.
- Contrarrestar el consumo energético excesivo en la edificación (MARTINO, 2004) (SOLÍS, 2009).

Los recursos ambientales son básicos para el desarrollo de la humanidad, sin embargo el consumismo irracional causa deterioro, que a su vez produce pobreza; para que el desarrollo no sea contraproducente deberá ser sustentable y la conservación, y optimización del uso de los recursos permite lograrlo.

El análisis de la variedad cultural, no es más que tener en cuenta las características culturales del contexto y el impacto e influencia que el objeto arquitectónico tendrá sobre estas; recordando la evolución de los valores culturales de una sociedad que se transforma (SOLÍS, 2009) .

Claro es que el análisis de la variedad cultural no se trata de evitar las modificaciones culturales del lugar bajo la influencia del objeto arquitectónico; si no de estar al tanto de los impactos que el mismo puede causar (Martino, 2008) citado por (SOLÍS, 2009).

El diseño ambiental de la construcción se refiere a la disminución de los impactos ecológicos de los edificios, esto tratando de lograr que el edificio pueda resultar beneficioso dentro de su entorno ecológico; logrando una integración armoniosa en el sistema natural a lo largo de su ciclo de vida (YEANG, 1999).

El reto para la industria de la construcción, es fundamentalmente el empleo de materiales de construcción de bajo impacto ambiental, dado que son estos los que más repercuten sobre el medio natural, sin descartar otros impactos relacionados con el consumo de energía o los residuos (CABELLO).

En las edificaciones, el consumo de energía depende en gran medida de las tecnologías utilizadas durante el proyecto, ejecución y mantenimiento del edificio. Las tendencias en la arquitectura contemporánea pueden y deben corregirse con base en la aplicación de acciones orientadas a implementar una arquitectura que responda favorablemente a la tradición, cultura y clima de un lugar, y que aproveche adecuadamente los avances científicos y tecnológicos disponibles en una cultura ecológica (ÁLVAREZ GARCIA).

1.1.1. Arquitectura bioclimática.

La arquitectura y la construcción son actividades que contribuyen al desarrollo social y económico de un país; pero al mismo tiempo, la arquitectura y la construcción a través de la ocupación del espacio, del paisaje, de la extracción de recursos, de la generación de residuos y contaminación generan un impacto en el ambiente, la economía y la sociedad durante todo el ciclo de vida de la edificación (ACOSTA, 2003).

La Arquitectura Bioclimática es considerada como una estrategia de la Arquitectura Sustentable, capaz de reducir el consumo energético en el objeto arquitectónico y por consiguiente mejorar el bienestar en la habitabilidad del usuario (SOLÍS, 2009).

El objetivo primordial de esta arquitectura consiste en proporcionar ambientes tanto interiores como exteriores confortables en cualquier condición climática, por medio de disposiciones puramente arquitectónicas, haciendo uso de tecnologías apropiadas y en consecuencia consumiendo el mínimo de energía (RAMIREZ, 2009).

Consiste en brindar herramientas para que el diseñador y el constructor consideren la interacción entre energía, ambiente y construcción, a fin de que ésta regule los intercambios de calor con el ambiente y propicie las condiciones de comodidad o confort que requiere el ser humano (CONAFOVI, 2006).

Olgyay (1963), menciona que el término Diseño Bioclimático se propone en los años sesenta, tratando de enfatizar los vínculos y múltiples interrelaciones entre la vida y el clima en relación con el diseño, también expone un método a través del cual el diseño arquitectónico se desarrolla respondiendo a los requerimientos climáticos específicos.

La arquitectura vernácula tenía enfoques bioclimáticos, sin embargo tiene limitaciones con respecto a los materiales que utiliza determinados por las características físicas del lugar; además de su lento desarrollo transmitido de generación en generación (OLGYAY, 1963).

Actualmente se requiere de un proceso más acelerado que ofrezca respuestas rápidas; la arquitectura bioclimática pretende sentar las bases para la realización de las edificaciones racionalmente construidas, que respondan a la relación directa entre el hombre y su medio(OLGYAY, 1963).

En función del panorama planteado es necesario introducir nuevos paradigmas en la relación entre arquitectura y ambiente:

- Nuevos lineamientos para el diseño de las edificaciones.
- Nuevas metodologías constructivas.
- Desarrollo de nuevas tecnologías de componentes de envolventes integradas al diseño de las edificaciones.
- Normatividades que determinen la calidad energética y nivel de emisiones de la edificación.

Esta Arquitectura, eleva los niveles de confort, aprovechando las condiciones climáticas mediante la adecuación del diseño, geometría, orientación y las tecnologías utilizadas durante y sobre la construcción del objeto arquitectónico; logrando insertarse en el entorno (OLGYAY V. , 1998).

Al hablar de Diseño Bioclimático se han desarrollado algunos pasos metodológicos, para el logro de una arquitectura bioclimática, esto con el fin de construir un nuevo paradigma en la concepción de la arquitectura bioclimática para poder lograr dicha “adecuación ambiental”; Olgyay (1998)establece secuencias para la interrelación de cuatro variables:

Tabla 1.- Variables interrelacionadas en la adecuación ambiental (OLGYAY V. , 1998)

Clima	Biología	Tecnología	Arquitectura
Análisis de las condiciones climáticas del contexto inmediato.	Evaluación de los efectos del clima en términos fisiológicos	Selección de la tecnología apropiada para cada problema de confort climático.	Resultado de la combinación de las estrategias seleccionadas.

1.1.2. El clima en la arquitectura:

Es importante hablar de la relación del clima con el objeto arquitectónico, ya que el estar inmerso en un contexto determinado hace que las características del inmueble respondan a las condicionantes y limitantes del entorno circundante, y para esta investigación al tener un enfoque sustentable el tomar en cuenta el contexto es primordial para cumplir con los pilares sustentables.

“El desarrollo de un equilibrio térmico estable en nuestro edificio debe observarse como uno de los más valiosos avances en la evolución de la edificación” (CANNON B).

Como se ha mencionado la adaptación de la edificación a su entorno ha sido uno de los principales problemas durante siglos, y para las numerosas condicionantes que precisan soluciones apropiadas, el regionalismo juega un papel importante.

Esta falta de adaptación de los edificios ha llevado a la utilización de sistemas mecánicos que lejos de ayudar han generado un desgaste de energía; el realizar investigaciones desarrolladas con un método adecuado en una región específica ayudaría a encontrar las respuestas adecuadas propias de un lugar específico (ÁLVAREZ GARCIA).

Tanto la envolvente como los elementos interiores del edificio, tienen influencia sobre las diferencias que existen entre el interior y el clima exterior. Entre ambos se generan numerosos fenómenos de intercambio de flujos energéticos que definen el comportamiento térmico, y el ambiente en general, del mismo. Cada uno de los elementos arquitectónicos causa un filtrado del clima exterior hacia el interior del objeto arquitectónico, que se traduce en una respuesta térmica global de todo el inmueble a esas causas, determinando efectos sobre un clima interior diferente (FERNANDEZ, 1994).

Esta conversión climática que efectúa el edificio depende de parámetros tanto del clima como del propio edificio.

El clima de un lugar está provocado por una serie de factores naturales; son determinantes los factores geográficos como la latitud y altitud, pero también influyen seriamente los que condicionan el microclima, como la topografía, que determina la incidencia de los vientos, la cercanía del mar, los fenómenos climáticos urbanos y la vegetación.

Todos estos condicionantes se reflejan en una serie de parámetros meteorológicos, fuertemente ligados entre sí, entre los cuales los más relevantes son: la radiación solar, la temperatura del aire, la humedad y el viento. La acción combinada y simultánea de todas las variables climáticas, es la causa que determina la respuesta térmica del edificio (FERNANDEZ, 1994).

Por otra parte, es de suma importancia conocer la envoltura y la estructura del inmueble inmerso en un clima específico, para poder determinar su respuesta térmica. Numerosos factores arquitectónicos, desde la forma, orientación, inclinación de muros y tamaño y ubicación de aberturas, hasta las superficies y materiales que constituyen su piel, condicionan su comportamiento, que es el de actuar como intermediario con el clima exterior. De hecho los usuarios lo pueden modificar sensiblemente; tanto por su actividad metabólica como por la utilización de medios mecánicos (FERNANDEZ, 1994).

Como consecuencia de la combinación de estas variables tanto naturales como arquitectónicas, se producen flujos energéticos que en todo instante entran y salen del inmueble, estableciéndose también a cada momento un balance térmico global entre la energía o calor que entra, el que sale y el almacenamiento; el modo de dosificar adecuadamente estas ganancias es la base conceptual de la climatización natural en edificios (FERNANDEZ, 1994).

1.1.3. Efectos del clima en el hombre.

Además de incidir en el objeto arquitectónico, el clima también tiene efectos sobre el usuario, para poder hablar sobre los efectos del clima en el hombre primero debemos de conocer su comportamiento térmico.

El cuerpo genera continuamente calor por procesos de metabolismo propios de cada organismo. Su temperatura debe permanecer equilibrada y constante alrededor de los 37°C, y deshacerse de cualquier ganancia extra procedente del entorno inmediato.

De toda energía producida en el cuerpo solo se utiliza un 20%; el 80% restante debe disiparse de nuevo al ambiente por calor en la respiración, radiación por la piel y si es necesario sudor.

Los efectos del medio ambiente inciden directamente tanto en la energía como en la salud del hombre. También es muy conocido que en las zonas climáticas donde prevalece un calor o frío excesivos, el esfuerzo biológico de adaptación a dichas condiciones disminuye nuestra energía (OLGYAY, 1963).

Como se menciona en la problemática expuesta en la situación inicial, una de las principales afectaciones negativas del clima en zonas cálidas sobre el humano es el estrés térmico; un ambiente térmico inadecuado causa reducciones de los rendimientos físico y mental, y por lo tanto de la productividad; provoca irritabilidad, incremento de la agresividad, de las distracciones, de los errores, incomodidad al sudar o temblar, aumento

o disminución de la frecuencia cardíaca, etc., lo que repercute negativamente en la salud e incluso, en situaciones de límite, puede desembocar en la muerte.

Las condiciones de comodidad térmicas para nuestra zona de estudio oscilan entre los 23.3 y 29.4°C, con humedades relativas entre 30 y 70% (CONAFOVI, 2006).

1.2. Marco referencial.

1.2.1 Estrategias bioclimáticas para evitar ganancias térmicas

Mantener el interior de la vivienda fresco cuando en el exterior hace mucho calor es un gran problema. El sol sobre las viviendas causa temperaturas altas que disminuyen los niveles de confort.

Lo primero es mantener afuera el calor absorbido por la propia vivienda protegiendo su envolvente, techo, muros y ventanas, así como todas las filtraciones de aire por puertas, ventanas, etcétera (CONAFOVI, 2006).

El aislamiento adecuado de techos y paredes es esencial para mantener una temperatura agradable en casa.

Hay dos formas de bloquear el calor: por medio de aislamiento térmico y mediante el uso de elementos de sombreado. El aislamiento ayuda a mantener la vivienda confortable y ahorra dinero, pues reduce el consumo de aire acondicionado o de ventiladores.

El uso de aislantes y el sellar los puntos de filtraciones de aire protegen la vivienda contra el calor en verano.

Los elementos de sombreado permiten bloquear los rayos solares. El sombreado por medio de árboles, arbustos o vegetación crean un microclima que reduce la temperatura hasta 5°C en los alrededores de la vivienda. Durante la fotosíntesis, grandes cantidades de vapor de agua se escapan a través de las hojas y enfrían el aire y las hojas, por lo general, absorben la radiación solar (CONAFOVI, 2006).

Son evidentes los beneficios de la vegetación para la mejora del comportamiento térmico del objeto arquitectónico, además de influir en el ahorro energético, asumir funciones de control sobre la radiación, humedad o movimiento de aire la vegetación también crea una temperatura uniforme a lo largo del día; esto se debe principalmente al gasto energético que sufre en su proceso de evapotranspiración (BRITTO CORREA, 2001).

1.2.2 La vegetación en el objeto arquitectónico como agente regulador.

La tendencia actual, comprometida principalmente con el desarrollo sustentable, exige contribuir al buen diseño de edificios, por lo que éste representa en cuanto a bienestar para sus ocupantes (como derecho del habitante); así mismo es necesario contribuir al ahorro de energía con propuestas ambientalmente sustentables para edificaciones existentes y nuevas (MORILLÓN, 2006).

La combinación de la construcción con la vegetación ha sido una constante en la historia de la Arquitectura. Los ejemplos más antiguos, son originarios de Egipto y Persia, datan del 2600 a. de C. y se refieren a patios y huertos que se integraban en la vivienda, como medio de subsistencia y como medio de confort por la sombra que proporcionaban (BRITTO CORREA, 2001).

Es en la agricultura en donde se le dio un uso consciente a la vegetación como elemento regulador de los elementos climáticos (OCHOA, 1999).

Fiel a sus orígenes, las dimensiones y contorno de los techos para el cultivo se correspondían con los que tenían en los campos. Por motivos funcionales se incorporaron canalizaciones y charcas para el riego, sin olvidar el alivio físico que suponían éstas en los climas cálidos (BRITTO CORREA, 2001).

“La presencia de vegetación en las ciudades, altera el balance energético del clima a escala local, provocando variaciones en la radiación solar que llega a la superficie, en la velocidad y dirección del viento, en la temperatura ambiente y en la humedad del aire.”

“Estos efectos, aunque limitados, contribuyen, en gran medida, a mejorar la sensación de confort en los espacios exteriores urbanos, así como a amortiguar el impacto de los elementos climáticos sobre los edificios” (OCHOA, 1999).

El control climático que se genera al utilizar vegetación en el objeto arquitectónico puede expresarse de distintas formas, la vegetación como control de la temperatura puede tener diferentes aplicaciones; debido a sus propiedades cualquier aplicación de vegetación en el inmueble reflejará un beneficio en el microclima.

En efecto, la vegetación puede representar un beneficio para el medio ambiente; sus propiedades hacen posible la mejora en la calidad del aire por que lo purifica, además almacena partes contaminantes y sobre todo realiza el producto de la fotosíntesis, generando oxígeno a la atmósfera con este proceso (GARCIA, 1996).

Los beneficios de la vegetación en la edificación pueden ser múltiples debido a los impactos que ejerce sobre los factores microclimático y ambientales; ya forma parte de las características fisiográficas del contexto inmediato (SOLÍS, 2009).

Uno de los factores microclimáticos mas apreciados es la sombra proyectada por la vegetación o bio-sombra (Hoi, et. Al. 2006) citado por (SOLÍS, 2009); ya que logra regular la temperatura radiante.

El albedo¹ es otra propiedad de la vegetación que puede ser utilizada para el control de la radiación solar en el objeto arquitectónico, debido que puede reflejar la radiación incidente en menor grado hacia el espacio interior, de acuerdo al albedo del según el tipo de vegetación (OCHOA, 1999).

La vegetación en el ámbito urbano genera beneficios arquitectónicos múltiples; como se ha venido mencionando son evidentes las incidencias sobre el microclima, sin embargo la vegetación también tiene efectos sobre factores ambientales, ya que absorben gas carbónico y producen oxígeno, conserva el agua y los suelos fértiles, preserva la biodiversidad, contribuye a la formación de ozono, disminuye la contaminación atmosférica y acústica (Minke, 2005) citado por (OCHOA, 1999).

Además la vegetación tiene la capacidad para amortiguar el ruido excesivo por medio de plantas agrupadas como cortinas; la capacidad de absorción acústica varía según el tamaño de las hojas y la densidad del follaje; de acuerdo con estudios realizados en Italia por Alessandro S. y Suiza por Stryjenski (OCHOA, 1999)Citado por (SOLÍS, 2009).

“Otra característica de la vegetación es que incrementa la recarga acuífera ya que cuanto mayor sea el área verde en las ciudades, mayor será la captación de la precipitación pluvial” (GARCIA, 1996).

La vegetación influye también sobre los factores psicológicos, se han evidenciado los beneficios psicológicos sobre el ser humano, la naturaleza permite que nuestro sistema sensorial se relaje, y puede servir para desarrollar aptitudes del hombre, dando un estado de tranquilidad y sosiego para la vida agitada en zonas urbanas; según estudios de Roger Ulrich de la Texas A&M University (OCHOA, 1999).

Tuxtla Gutiérrez, como muchas otras ciudades, no cuentan con estrategias de naturación, en efecto, cuenta con pulmones verdes tales como parques, zonas de recreación, etc. sin embargo no responden bioclimáticamente a las características del contexto inmediato.

¹ Es la cantidad de radiación solar que es reflejada por una superficie (FUENTES, 2004)

Con base al entramado urbano que presenta se podría lograr la implementación de cinturones verdes, que beneficien el microclima, logrando beneficios en la habitabilidad del espacio urbano.

1.2.3 Cubiertas naturadas en el tiempo.

La construcción con vegetación ha sido una constante en la arquitectura, sin embargo la revolución industrial fue punta de lanza para el desarrollo de las cubiertas naturadas, debido a los avances tecnológicos en materiales para estructuras; una tecnología que facilitó el progreso de las cubiertas naturadas fue la introducción de la patente por parte de Cad Rabbitz en 1867 para la impermeabilización de azoteas horizontales, presentada en la exposición Mundial de París de ese año (BRITTO CORREA, 2001).

Le Corbusier a través de su nueva arquitectura, diseñando edificios con cubiertas naturadas, captura los placeres esenciales que son el sol, el espacio y la vegetación. Él defiende su utilización con una larga argumentación:

"La cubierta jardín: la cubierta plana exige en primer lugar, un aprovechamiento consecuente para fines de vivienda: cubierta terraza, cubierta jardín, de esta manera, la cubierta jardín se convierte en el lugar preferido de la vivienda. En general, la cubierta jardín significa para una ciudad recuperar la superficie perdida. Razones técnicas, razones de economía, de confort y razones sentimentales nos conducen a adoptar el techo-terraza" (BRITTO CORREA, 2001).

En Europa, se han usado techos y paredes verdes desde hace miles de años, donde han sido punta de lanza en materia de sustentabilidad.

Otros autores que han experimentado sobre el comportamiento térmico de la cubierta verde son Gernot Minke quien desde 1974 ha estado experimentando en Europa y América del Sur, Muller en México.

Es importante analizar los sistemas actuales para la aplicación de cubiertas naturadas que presentan mayor relevancia en el medio, como se están aplicando y cuáles son los beneficios que cada uno de los sistemas aporta.

En definitiva, son conocidas las ventajas que genera la vegetación en el objeto arquitectónico, por lo que se creó la tecnología necesaria para poder aplicarla en las cubiertas de las edificaciones.

1.2.3.1 Tipologías.

Este tipo de cubiertas presenta la clasificación que a continuación se describe según el tipo de naturación que desee construir:

- **Cubierta con naturación extensiva**
- **Cubierta con naturación intensiva**
- **Cubierta con naturación semi-intensiva** (AMBIENTE, 2007)

Datos técnicos:

Tabla 2.- clasificación de cubiertas naturadas de acuerdo al espesor del sustrato (AMBIENTE, 2007).

Cubiertas extensivas	Cubiertas semiextensivas	Cubiertas intensivas
Espesor: >18 cms.	Espesor: <15 cms.	Espesor: < 20 cms.
Peso: 110-140 KG/m2	Peso: 250 KG/m2	Peso: < 250 KG/m2

Según la clasificación presentada esta investigación estará enfocada a la instalación de cubiertas extensivas para el objeto arquitectónico.

Por otra parte, al hablar de Cubiertas naturadas, en la actualidad nos encontramos con 2 sistemas tecnológicos en el ámbito:

1. Las cubiertas verdes Sistema Integral
2. Las cubiertas verdes Sistema Modular

1.-Cubierta naturada sistema integral:

Hoy en el mercado existen variados sistemas de cubiertas naturadas, con características peculiares de cada uno, las cuales responden a los requerimientos de cada situación y aplicación. Cada componente de una Cubierta naturada tiene una función específica, como ocurre con un suelo natural.

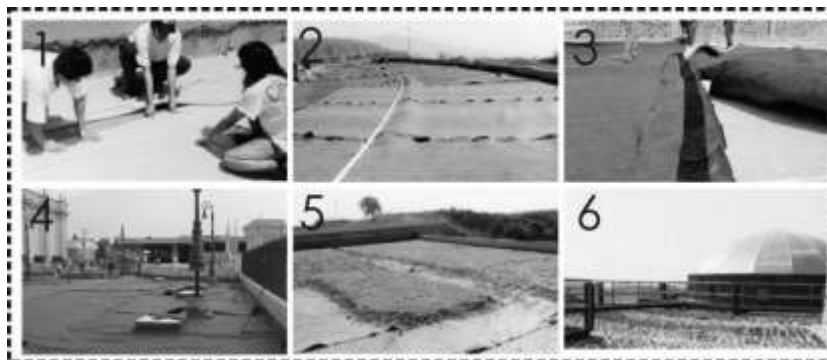
Según la NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el distrito federal, Una cubierta naturada está constituida por los siguientes componentes básicos, los cuales se enlistan en el orden del proceso constructivo:

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

Green Roof:

Green Roof Systems de México es una empresa especializada en la instalación completa de los distintos Sistemas de naturación y techos verdes.

Las etapas para llevar a cabo la colocación completa de un techo verde se divide de la siguiente manera:



Fotos (1-6): Instalación de un Sistema de naturación Integral. (ROOF, 2011)

1. Trabajos preliminares para el establecimiento de una azotea verde.
2. Aplicación de membrana impermeabilizante con agente anti-raíces.
3. Suministro y colocación de una capa de dren y velo de filtración.
4. Fijación de las capas instaladas.
5. Suministro y colocación de una capa de sustrato para la plantación.
6. Suministro y plantación de vegetación. (ROOF, 2011)

2.-Cubierta naturada sistema modular:

Las cubiertas compuestas por módulos contenedores de vegetación presentan características similares a las del sistema integral de techo verde sin embargo va contenido en un recipiente modulado para su integración con la vegetación; esto facilitando su instalación y adaptación a cualquier tipo de superficie ya sea nueva o existente; logrando hacer con esta modulación un modo de crecimiento económico ya que puede ser progresivo y no representa una inversión fuerte en un principio.

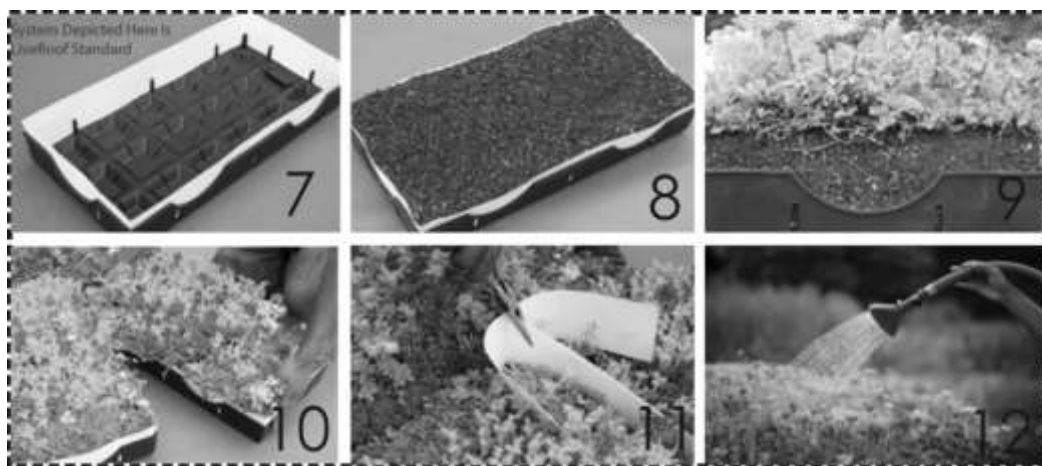
Existen diferentes tipos de módulos contenedores a continuación se describen los módulos más utilizados para la naturación de cubiertas en la actualidad:

Live Roof (modulo subterráneo)²

Sistema modular para cubierta verde que utiliza una Soil Elevator tecnología que une todo el sustrato de manera continua; esto permite el intercambio natural de agua, nutrientes y microorganismos benéficos a través de todos los estratos de la cubierta.

También minimiza las zonas calientes, húmedas y secas, evita reticular el medio de cultivo en una “red” no natural como es el caso de otros sistemas modulares.

Al no reticular el sustrato en “redes” Live Roof funciona como naturaleza en su comportamiento. (LIVE, 2009)



Fotos (7-12): Instalación de Sistema Naturación Modular Live Roof (LIVE, 2009)

² Se anexa ficha técnica sistema modular Live Roof

Efecto Verde (Hidromacetero)³:

El Contenedor: El elemento básico de Efecto Verde es un simple contenedor: un sistema modular auto sostenible para plantas que cualquier persona puede colocar en su azotea. Mientras más contenedores sean colocados, mayores serán los beneficios ambientales de la ciudad. (VERDE, 2010)

De qué está hecho: La clave para la sostenibilidad y bajo costo del modelo de Efecto Verde es el material con el cual se fabrican los contenedores, todos ellos fabricados 100% con plástico reciclado obtenido de la basura generada en la ZMVM. Los contenedores son 100% reciclables. (VERDE, 2010)

Las plantas contenidas en los contenedores son especies de la región o adaptadas a las condiciones climatológicas del valle de México asegurando así un mínimo de mantenimiento. Algunas de estas especies pueden resistir hasta 4 meses sin riego. (VERDE, 2010)



Figura 1: Hidromacetero Efecto Verde (VERDE, 2010)

Cómo se ve: Los contenedores de Efecto Verde son de fácil instalación y prácticamente no requieren mantenimiento.

³ Se anexa ficha técnica de Hidromacetero

Tabla 3: Especificaciones Técnicas EfectoVerde Hidromacetero (VERDE, 2010)

Material:	Polipropileno 100% reciclado
Largo X Ancho X Alto:	52 cm X 32 cm X 33 cm
Almacenamiento de Agua:	6 Litros
Volumen Maximo de Sustrato:	20 Litros
Elevación:	14 cms.
Número de Patas:	6
Superficie de Contacto:	4%(área de contacto de patas)
Peso de Hidromacetero:	1.4Kg
Peso con Plantas y Sustrato:	11Kg (con planta tipo Sedum)
Peso a Saturación:	20Kg
Protección UV:	Sí
Vida útil:	10 años
Metro Cuadrado:	6 Hidromaceteros
Colores Disponibles:	Verde oscuro y café chocolate

1.2.4 Naturación en México.

Como se dijo en el apartado anterior, en la vivienda, el componente con mayor ganancia térmica es la cubierta debido al alto nivel de radiación solar que recibe durante muchas horas, en la medida en que se protege el punto más vulnerable del objeto arquitectónico, se minimizan los flujos energéticos entre ambiente exterior e interior, contribuyendo a una mejora en las condiciones de confort; lo que ha provocado que en la última década aparecieran las Cubiertas naturadas⁴, como alternativa para detener o regular el paso de

⁴ Según la NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-011-AMBT-2007 se define a un SISTEMA DE NATURACIÓN como: El tratamiento técnico de superficies edificadas horizontales o inclinadas, individuales o agrupadas mediante el cual se incorpora en un elemento o grupo de elementos constructivos tradicionales capas de medio

calor radiante, en México, que hasta hace poco pasaba desapercibida, se ha convertido en una forma de enfrentar el efecto del cambio climático en ciudades donde faltan áreas verdes (CARRASCO, 2010).

Ahora bien, algunos de los beneficios que pueden aportar las Cubiertas naturadas son: la contribución a la mejora de la imagen urbana, reducción en el impacto de la radiación solar sobre la cubierta del objeto arquitectónico; actúan como masa térmica adicional, permite la reducción del consumo energético para la climatización artificial; funciona como filtro pluvial y control del ruido; así como la reducción del estrés térmico de los habitantes del inmueble y el incremento en el valor de la construcción (CHAVEZ, 2008).

A nivel urbano, reduce el fenómeno nocivo Isla de Calor y logra la integración del objeto arquitectónico al ecosistema inmediato (CHAVEZ, 2008).

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente (SMA) capitalina hay 12 mil 500 metros cuadrados de Cubiertas naturadas en edificios públicos y cerca de 5 mil en construcciones privadas (CARRASCO, 2010).

Como consecuencia, la Ciudad de México tiene la primera norma técnica para la instalación de cubiertas naturadas en Latinoamérica, y el primer jardín botánico de azotea acreditado en la región, según la Asociación Mexicana para la naturación de Azoteas (AMENA, 2010).

La Naturación en azoteas y edificios públicos en México inició en 2007; entre las más representativas en el Distrito Federal están:

- Hospital de Especialidades Dr. Belisario Domínguez, de Tláhuac
- Preparatoria Iztacalco "Felipe Carrillo Puerto"
- Preparatoria Coyoacán "Ricardo Flores Magón"
- Museo de Historia Natural
- Secundaria Técnica N°14 "Cinco de Mayo", en la delegación Benito Juárez
- Centro de Educación Ambiental Yautlica, en Iztapalapa (CARRASCO, 2010).

En cuanto a edificaciones privadas destacan las siguientes:

- HSBC, Corporativo y sucursales
- Museo del Acero en Nuevo León
- El "Acantilado", Zapopan Jalisco
- Grupo WalMart, Superama Polanco
- Plaza Central, DF
- Unidad Médico Familiar 52, Tlaquepaque, Jalisco (ROOF, 2011).

de crecimiento y vegetación especialmente adaptada a las condiciones físicas y climáticas del sitio en que se instala, creando una superficie vegetal inducida.

En México el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), de manera conjunta con el Instituto del Fondo Nacional para la Vivienda de los Trabajadores (INFONAVIT), diseñaron un Programa Piloto para fomentar la construcción de viviendas con ahorro de energía eléctrica. El proyecto contempla la aplicación de aislamiento térmico en techos, la instalación de luminarias con lámparas fluorescentes compactas, aire acondicionado de alta eficiencia y ventanas térmicas de doble cristal. Pronto estará disponible el plan Hipoteca Verde, que permitirá a los derechohabientes que adquieran una vivienda con características ecológicas acceder a un crédito mayor (GONZÁLEZ G. Vivienda Verde, Vivienda Sustentable).

Los criterios ecológicos para estas viviendas empezarán con mecanismos sencillos, como calentadores solares y ahorradores de agua, y en la medida en que madure el concepto los desarrolladores comenzarán a incorporar dispositivos de otro tipo. Concepto aplicado en Estados Unidos, Canadá y algunos países de Europa (GONZÁLEZ G. Vivienda Verde, Vivienda Sustentable).

En Chiapas, Castañeda (2007), quien en su artículo Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, expone el resultado de la comparación experimental del comportamiento térmico de dos sistemas de techo: Concreto Armado y Domotej, con lo que se demostró que el Domotej es una propuesta de techo alternativo que mejora el comportamiento térmico del techo de concreto armado utilizado convencionalmente en las viviendas construidas en Tuxtla, Gutiérrez, Chiapas.

El análisis térmico se realizó en un día típico experimental, comparando las temperaturas superficiales de los dos sistemas de techos.

Sin embargo, debido a la ventaja térmica mínima lograda con la propuesta inicial, se le colocó una capa de pasto con sustrato en la parte superior, lo que amplió dicha ventaja sobre el techo a mejorar logrando una diferencia de hasta 13.9°C lo que hace factibles obtener las condiciones higrotérmicas al interior de la vivienda.

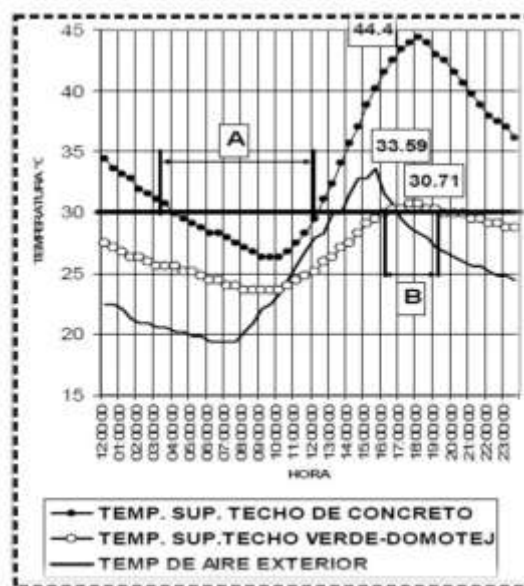


Figura 2: Comparativa de comportamiento térmico entre techo de concreto y techo verde Domotej. (CASTAÑEDA NOLASCO, 2007)

Otra autora, Solís(2009), quien en su tesis “La vegetación como estrategia proyectual bioclimática en clima cálido – subhúmedo” expone la investigación acerca del uso de la vegetación como estrategia proyectual bioclimática, principalmente como mecanismo para el control de la radiación solar; en la búsqueda de la reducción del consumo energético para el enfriamiento de la edificación.

Realiza una evaluación experimental para conocer el desempeño térmico de un panel verde frente a mecanismos usuales de producción de sombra para la edificación, en la cual se demostró que el panel vegetal reduce efectivamente el paso de la radiación solar, disminuyendo la temperatura del aire y aumentando su humedad. Esto permite que la vegetación pueda utilizarse como estrategia proyectual integrada al diseño arquitectónico, con el conocimiento de los factores microclimáticos en que esta puede incidir.

1.2.5 Ventajas de la cubierta naturada.

La cubierta naturada es una cubierta plana que soporta una capa de substrato más vegetación en la parte superior. También puede ser un tipo de cubierta invertida, ya que presenta normalmente, el aislamiento sobre la impermeabilización. Además de que sobre ellas se pueden diseñar verdaderos jardines que transmitan sensaciones a los usuarios, la vegetación sobre la cubierta proporciona diversas ventajas que abarcan tanto aspectos arquitectónico constructivos como estéticos y medio ambientales.

Con base en la literatura al techo verde o cubierta naturada se le atribuyen ciertas características benéficas como:

Actuación positiva en el clima de la ciudad y de la región proporcionada por la retención de polvo y sustancias contaminantes: Las plantas filtran las partículas del aire, produciendo, además, oxígeno. La atmósfera se limpia de sustancias nocivas, y la temperatura incrementada por los gases de combustión disminuye, por la falta de circulación natural de aire y por la contaminación, con la consiguiente mejora del clima de la región.

Aumento del espacio útil: No hay duda de lo agradable que es una superficie ajardinada. Con la instalación de una cubierta ajardinada, se aumenta la superficie verde de las ciudades, que es uno de los problemas urbanos a tener en cuenta, y se puede, de alguna manera, reponer la superficie verde ocupada por la construcción del edificio

Influencia que ejerce sobre el ambiente interior: La cubierta ajardinada ofrece una gran protección contra la radiación solar. La vegetación no permite su penetración en la superficie de la cubierta. En la medida en que se protege el punto más vulnerable del

edificio, que es la cubierta, se minimizan los flujos energéticos entre ambiente exterior e interior, contribuyendo a una mejora en las condiciones de confort.

Enfriamiento de los espacios bajo cubierta, en el verano, provocado por la evaporación:

Hay dos tipos de evaporación a considerar; en primer lugar la evaporación provocada por la humedad retenida por el sustrato en contacto con la radiación solar, y en segundo lugar, la evaporación provocada por las plantas en su función biológica. La evaporación consume energía que es alejada en lugar de transmitirse por la cubierta.

Incremento del aislamiento térmico: La diferencia de temperatura que sufren los materiales que conforman una cubierta queda minimizada con el empleo de un cerramiento vegetal. A esto contribuye la capa protectora que es la vegetación, el poder aislante del suelo o sustrato, generalmente de baja conductividad térmica, el aire existente entre las hojas de las plantas y la capa superior del sustrato, que funcionan como una capa aislante que disminuye el intercambio térmico entre la cubierta y el exterior.

Absorción del ruido: Las ciudades están bajo la influencia de todo tipo de ruidos provenientes tanto de la propia ciudad como del aire. En la cubierta tradicional, los materiales sufren los ruidos de impacto y expanden la onda sonora; sin embargo, en la cubierta ajardinada tanto las plantas como el sustrato actúan como buenos absorbedores acústicos.

Prolongación del tiempo de vida de la cubierta: La cubierta ajardinada protege la lámina de impermeabilización de la radiación solar, de los cambios bruscos de temperatura y de los esfuerzos mecánicos. En la cubierta invertida, es el aislamiento térmico quien protege a la impermeabilización. Con el paso del tiempo el aislamiento pierde sus propiedades aislantes, porque se queda expuesto a la humedad atmosférica y absorbe agua.

Mejora del grado de humedad: Las plantas retienen parte del agua de lluvia en la cubierta, y también mejora el desagüe pluvial del edificio, disminuyendo el flujo de agua superficial sobre la cubierta y consecuentemente reduciendo el caudal de agua que soportan las canalizaciones urbanas. Con esto, también se reducen los costes de depuración de aguas residuales y se minimizan los riegos de inundación y torrentes, devolviendo el agua de lluvia al ciclo natural.

Producción de oxígeno.

Efectos psicológicos: el color verde, la estética.

Reduce el efecto de la isla de calor: Durante el verano, la evaporación del agua puede producir grandes efectos refrigerantes dentro de las ciudades. Grandes superficies verdes dentro de centros urbanos densos son indispensables para prevenir las sensaciones de incomfortabilidad y despilfarro de energía que producen la isla de calor. (BRITTO CORREA, 2001)

1.3. Marco conceptual.

Según la Organización Mundial De La Salud la vivienda es un:

“ente facilitador del cumplimiento de un conjunto de funciones específicas para el individuo y/o la familia: proveer abrigo ante el intemperismo, garantizar la seguridad y protección, facilitar el descanso, permitir el empleo de los sentidos para el ejercicio de la cultura, implementar el almacenamiento, procesamiento, y consumo de alimentos, suministrar los recursos de la higiene personal, doméstica y el saneamiento, favorecer la convalecencia de los enfermos, la atención de los ancianos y minusválidos, el desenvolvimiento de la vida del niño, promover el desarrollo equilibrado de la vida familiar”, pero dicha definición no delimita a la vivienda como un ente físico tangible (OMS, 2006).

El INEGI la define como:

“El espacio delimitado normalmente por paredes y techos de cualquier material, con entrada independiente, que se utiliza para vivir, esto es, dormir, preparar los alimentos, comer y protegerse del ambiente”. Sin embargo esta es una definición técnica que no alcanza a abarcar las dimensiones sociales y éticas del concepto vivienda (CESOP, 2006).

Por otra parte, la Constitución política Mexicana en su artículo 4° establece el derecho de toda familia a *“disfrutar de una vivienda digna y decorosa”* sin embargo no define qué es lo que se considera digno y decoroso en una sociedad pluricultural como la mexicana (CESOP, 2006).

Por su parte, los expertos internacionales como Raquel Rolnik (relatora de la ONU), y el sistema de naciones unidad HABITAT, parecen inclinarse por un término más operativo como es el de *“vivienda adecuada”*.

Una vivienda adecuada *“significa algo más que tener un techo bajo el cual resguardarse. Significa también disponer de un lugar privado, espacio suficiente, accesibilidad física,*

seguridad adecuada, seguridad de tenencia, estabilidad y durabilidad estructurales, iluminación, ventilación suficiente, una infraestructura básica adecuada que incluya servicios de abastecimiento de agua, saneamiento y eliminación de desechos, factores apropiados de calidad del medio ambiente y relacionados con la salud, y un desplazamiento adecuado y con acceso al trabajo y a los servicios básicos, todo ellos a un costo razonable” (CESOP, 2006).

Con base a lo anterior, para esta investigación una Vivienda Adecuada se define como:

“un ente delimitado y facilitador de un conjunto de funciones específicas así como el bienestar, protección y seguridad del individuo”; al hablar sobre bienestar se introduce desde el acto de su diseño, micro localización y construcción, y se extiende luego a su uso y mantenimiento.

Si se pretende optar por un cambio global para combatir las emisiones de efecto invernadero, se tendría que comenzar por el análisis del componente básico urbano, la vivienda, es importante analizar los intercambios térmicos entre las edificaciones y su entorno, o del cuerpo humano con su ambiente inmediato. El cual se da por efectos de los mecanismos de radiación, conducción y convección.

Radiación:

Intercambio de calor en forma de onda electromagnéticas entre 2 o más cuerpos a diferentes temperaturas, y separados por un espacio que es transparente o no absorbente de tales ondas.

Conducción:

Transferencia de calor entre sólidos en contacto físico directo, sin desplazamiento de moléculas.

Convección: *Paso del calor a través de un fluido en movimiento: gas o líquido (FERNANDEZ, 1994).*

Si bien es cierto el intercambio térmico entre la edificación y su entorno afecta directamente la calidad de vida del habitante, es necesario conocer los requerimientos básicos que el hombre necesita para obtener el *Confort Térmico*.

El hombre siempre ha buscado un ambiente térmicamente cómodo, esto se ve reflejado en las construcciones tradicionales en todo el mundo desde la antigüedad hasta nuestros días. En la actualidad el crear un ambiente térmicamente confortable, es uno de los parámetros más importantes considerados al diseñar edificios (TAREB, 2004).

El confort térmico según la ASHRAE se define:

“como aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”, B. Givoni (1989) lo define como “la ausencia de irritación o malestar térmico”.

El confort térmico no puede entenderse a partir solo de la consideración del intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno, sino además de una serie de acciones que el ser humano puede realizar para alcanzar el confort térmico, tanto internamente mediante procesos fisiológicos y psicológicos, como externamente con adecuaciones a su ambiente (TAREB, 2004).

La temperatura normal del interior del cuerpo está alrededor de los 37^a C, la piel debe tener una temperatura inferior con el fin de que el calor generado en el interior del cuerpo fluya hacia ella. La temperatura del ambiente debe a su vez ser inferior a la temperatura de la piel para que esta disipe el calor.

El rango de las temperaturas del ambiente que permiten una disipación del calor suficiente pero no excesivo, se denomina zona de confort térmico (RODRIGUEZ, 2004).

Ahora bien, cuando el comportamiento térmico de la vivienda no responde favorablemente, genera efectos negativos a través de las ganancias térmicas y su intercambio con el usuario.

El hombre para garantizar su salud física, debe mantener la temperatura interna de su cuerpo dentro de unos límites bastante estrechos, independientemente de las variaciones de la temperatura del aire. El cuerpo humano tiene internamente una temperatura que normalmente varía entre los 36,5 y los 37 °C. El balance o equilibrio térmico del cuerpo consiste precisamente en mantener su temperatura dentro de este rango, pues, de otro modo, si la temperatura aumenta o disminuye demasiado puede lesionar seriamente el organismo (BRITTO CORREA, 2001).

Se cita por diferentes autores, (AULICIEMS & SZOKOLAY, 1999), (VECCHIA, 1997) (CASTAÑEDA NOLASCO, 2007), (MORILLON, 2007) ETC... el concepto de *ESTRÉS TÉRMICO*; Se define *la sobrecarga calórica (Heat Stress) o (Stress Térmico) como la causa que provoca en el individuo el efecto psicofisiológico que se denomina tensión calórica, un ambiente térmico inadecuado*, causa reducciones de los rendimientos físico y mental, y por lo tanto de la productividad; provoca irritabilidad, incremento de la agresividad, de las distracciones, de los errores, incomodidad al sudar o temblar, aumento o disminución de la frecuencia cardíaca, etc..., lo que repercute negativamente en la salud e incluso, en situaciones límite, puede desembocar en la muerte (MONDELO, 1999).

En el caso de la vivienda, el estrés térmico se produce cuando la temperatura de la cubierta supera los 30°C ya que está aportando calor a los habitantes quienes al obtener dicha ganancia térmica tienen como consecuencia efectos negativos en su salud; ya que para lograr el balance térmico del cuerpo se producen una serie de fenómenos mediante los cuales el cuerpo gana o pierde calor (MONDELO, 1999).

El cuerpo está en equilibrio cuando la sumatoria de las ganancias y pérdidas es igual a cero. Si las ganancias de calor son mayores que las pérdidas o lo inverso, el organismo pone en marcha una serie de mecanismos autorreguladores (MONDELO, 1999).

Todo ambiente térmico que provoque tensiones en la persona que activen sus mecanismos de defensa naturales para mantener la temperatura interna dentro de su intervalo normal, constituye una sobrecarga. Las sobrecargas térmicas (por calor o por frío) provocan en el hombre las tensiones térmicas (por calor o por frío) (MONDELO, 1999).

Cuando las ganancias de calor son mayores que las pérdidas, debido a las condiciones climáticas existentes o al calor producido por una actividad física, se manifiesta inmediatamente un aumento en el flujo sanguíneo acompañado de una dilatación de los vasos capilares, incrementándose de esta manera el transporte de calor hacia la piel, desde donde se aumentará la pérdida de calor por radiación o convección (BRITTO CORREA, 2001).

Desde el punto de vista fisiológico la tensión calórica puede provocar: deshidratación, quizás calambres debido a un trabajo pesado con sudoración abundante e ingestión de grandes cantidades de agua, síncope de calor con la pérdida del conocimiento debido a un largo período de inmovilidad en ambientes calurosos, agotamiento por deshidratación y pérdida de sal por exposición de varios días en sujetos no aclimatados; o, de súbito, tras esfuerzos físicos intensos y prolongados, manifestaciones de naturaleza digestiva (náuseas y vómitos), cardiovascular (hipotensión, malestar general, lividez, dolores de cabeza, taquicardia, etcétera), neurológica (vértigos y desorientación), golpe de calor (pérdida súbita del conocimiento, piel seca y caliente, incremento de la temperatura interna hasta más de 40 °C, convulsiones y estado de coma) (MONDELO, 1999).

En la medida que el cuerpo, para lograr su equilibrio térmico, necesite realizar menor cantidad de regulaciones térmicas para adaptarse a un medio específico, más se acerca a una *zona de bienestar térmico*, donde el mayor porcentaje de personas manifiestan sentirse bien. *La zona de bienestar térmico* se define de acuerdo con el estándar 55-56 de ASHRAE, como:

"aquella condición de la mente que expresa satisfacción del ambiente térmico". B. Givoni, expresa que el bienestar térmico puede definirse en un sentido negativo como "la ausencia de irritación o malestar térmico", e indica que la delimitación de la zona de bienestar térmico tiene una base fisiológica, siendo ésta la que marca el rango de condiciones bajo las cuales los mecanismos termorreguladores del cuerpo se encuentran en un estado de mínima actividad (BRITTO CORREA, 2001).

Una de las estrategias bioclimáticas pasivas capaz de contrarrestar las ganancias térmicas al interior de la vivienda es el uso de la vegetación en el objeto arquitectónico, como se ha mencionado la cubierta es el componente con mayores ganancias térmicas, es por ello, que se indagará en su composición, aplicación y función.

Componentes de un sistema de naturación:

Vegetación: Este es el elemento final del sistema y varía según las condiciones ambientales, el tipo de cubierta (extensivo e intensiva), su uso y diseño.

Capa de Substrato: Esta es la capa en la cual crece la vegetación de la cubierta, y sus condiciones están determinadas por el tipo de plantas a cultivar, así como también, de los requerimientos de peso y uso de esta.

Capa Filtrante: Sobre el drenaje se instala una lámina de Geotextil de la cual ayuda a filtrar el agua de todo material orgánico o mineral del suelo vegetal, impidiendo que los desagües se tapen o saturen de tierra.

Capa Drenante: Se debe colocar entre la impermeabilización y la capa vegetal una lámina para drenaje la cual, dependiendo de la posición en que se coloque, permite direccionar el agua de regadío o acumularla en las cavidades que posee.

Aislación Térmica: Se debe incorporar, de ser necesario, un aislante térmico para aumentar la efectividad de la cubierta vegetal, se recomienda instalar Poliestireno Expandido o Extruido de alta densidad en espesor de 50mm., aunque dependiendo de las condiciones de uso o de la cubierta puede no ser requerido.

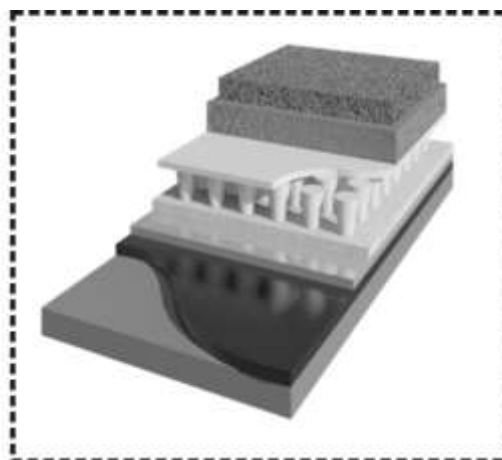


FIGURA 3: Componentes de un Sistema Integral de Naturación. (AMBIENTE, 2007)

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

Impermeabilización: Impermeabilizará la estructura base de concreto armado formando una superficie capaz de cubrir la totalidad de la cubierta, manteniendo su estanqueidad.

Riego: Existen distintos sistemas de riego dependiendo del uso y condiciones ambientales en que se emplaza la cubierta. Uno de los sistemas frecuentemente usados es el de micro-aspersión, por goteo, o bien el de irrigación por exudación, el cual va bajo tierra y no deja áreas sin humedad.

Clasificación de cubiertas naturadas:

- **Cubierta con naturación extensiva:** Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento extensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento muy bajos o casi nulos cuya capa de sustrato no debe ser mayor de 18 cm y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es de entre 110 y 140 kg/m².
- **Cubierta con naturación intensiva:** Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales o frecuentes cuya capa de sustrato es de 20 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) es superior a los 250 kg/m².
- **Cubierta con naturación semi-intensiva:** Cubierta de una edificación con acabado vegetal de tratamiento semi-intensivo creado por medio de añadir capas de medio de crecimiento y vegetación sobre un sistema de cubierta tradicional con requerimientos de mantenimiento normales cuya capa de sustrato es de 15 cm como mínimo y en la cual el peso de la capa de sustrato y vegetación (en estado saturado) generalmente es de entre 150 y 250 kg/m².

Descripción de tipos de cubierta naturada según el tipo de vegetación (AMBIENTE, 2007).

Conclusión parcial de la situación final.

Como se menciona en la metodología, la situación final es la resultante entre la situación ideal y la situación condicionada, es decir, la situación posible de alcanzar tomando en cuenta las limitantes del contexto, ya sea natural, artificial o social.

Una vez realizada la investigación acerca de las soluciones ideales enmarcadas siempre en la teoría sustentable y analizando el estado del arte, así como los conceptos claves para entender los fenómenos; se puede llegar a la situación final para afrontar la problemática en cuestión.

Fundamentados en la teoría sustentable la arquitectura debe responder favorablemente a su contexto inmediato, no debe generar impacto ambiental y deberá optimizar los recursos naturales y energéticos, logrando un todo integral.

Las cubiertas para el contexto con tipo de clima cálido sub-húmedo deberían tener un comportamiento térmico favorable para este tipo de clima, existen desde cubiertas térmicas hasta cubiertas naturadas como alternativas de solución.

A lo largo de este apartado se han demostrado las ventajas de las cubiertas naturadas, la vegetación influye directamente sobre todos los parámetros climáticos dentro del ámbito urbano, la radiación solar y el viento son los más influidos; su impacto dependerá de las características específicas de ésta.

La naturación a gran escala y en lugares estratégicamente situados puede ejercer un efecto mayor y global sobre las condiciones ambientales de la ciudad. Es por eso que la naturación urbana se plantea de forma intensiva para que con sus efectos, se pueda lograr parte del desarrollo ecológico.

En resumen, la vegetación genera un microclima benévolo para los habitantes y los ecosistemas del entorno inmediato (GARCIA, 1996).

La combinación de construcción con vegetación para la mejora en el comportamiento térmico de la edificación ha sido una constante en la Historia de la Arquitectura (BRITTO CORREA, 2001) Además de influir en el bienestar y el consumo energético al asumir

funciones de control sobre la radiación, humedad o movimiento de aire la vegetación también crea una temperatura uniforme a lo largo del día; esto se debe principalmente al gasto energético que sufre en su proceso de evapotranspiración⁵ (BRITTO CORREA, 2001).

El control climático que se genera al utilizar vegetación en el objeto arquitectónico puede expresarse de distintas formas, la vegetación como control de la temperatura puede tener diferentes aplicaciones; debido a sus propiedades cualquier aplicación de vegetación en el inmueble reflejará un beneficio en el microclima.

En efecto, la vegetación puede representar un beneficio para el medio ambiente; sus propiedades hacen posible la mejora en la calidad del aire por que lo purifica, además almacena partes contaminantes y sobre todo realiza el producto de la fotosíntesis, generando oxígeno a la atmósfera con este proceso (GARCIA, 1996).

Ahora bien, algunos de los beneficios que pueden aportar las Cubiertas naturadas son: la contribución a la mejora de la imagen urbana, reducción en el impacto de la radiación solar sobre la cubierta del objeto arquitectónico; actúan como masa térmica adicional, permite la reducción del consumo energético para la climatización artificial; funciona como filtro pluvial y control del ruido; así como la reducción del estrés térmico de los habitantes del inmueble y el incremento en el valor de la construcción (CHAVEZ, 2008).

A nivel urbano, reduce el fenómeno nocivo Isla de Calor y logra la integración del objeto arquitectónico al ecosistema inmediato (CHAVEZ, 2008).

Con base a lo anterior se ve reflejada la viabilidad de la implementación de la vegetación en el objeto arquitectónico como medio pasivo en el control microclimático del espacio, ante la necesidad que sufre la ciudad de Tuxtla Gutiérrez de la implementación de mejoras en el comportamiento térmico de la vivienda debido a las temperaturas que se presentan en la zona climática en la que se encuentra estando fuera de la zona de confort del usuario, el uso de las cubiertas naturadas proporciona mayores beneficios ante los distintos fenómenos mencionados y se presenta como una alternativa de solución pasiva para la región.

Sin embargo, al confrontar dicha viabilidad con las condicionantes, se tendría que tomar en cuenta que, más del 70% de las cubiertas existentes en la ciudad son de concreto armado, y no todas podrían soportar la carga muerta que genera la naturación de cubiertas.

⁵ Se define como la cantidad de agua necesaria para la transpiración de una cubierta vegetal en una zona con agua suficiente. (BELMONTE, 2006)

Además, la cultura constructiva difícilmente estaría dispuesta a pagar por la instalación con mano de obra especializada por un sistema de naturación, ya que requiere de una mayor inversión.

Y para que, los beneficios sean notables, se deberá lograr una repetición en la zona, para lo cual se requiere de una apropiación de la tecnología.

Por lo consiguiente, se deberá afrontar el reto de buscar una solución y alternativa pasiva que pueda ser aplicable y adaptable a las cubiertas existentes especialmente dirigido a la vivienda de interés social ya que esta es la de mayor repetición en la zona y la que, por su configuración soporta menores cargas, pero que de lograrse dicha implementación y mejora lograría impactar de manera global en el ambiente.

Confrontación de las dos situaciones

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Confrontación de las 2 situaciones.

A continuación realizaremos la confrontación de la situación inicial con la situación ideal a partir de la cual obtendremos los objetivos a cumplir con la presente investigación.

Como se demuestra en el capítulo de la situación inicial, existe la necesidad de modificar el comportamiento térmico de las cubiertas de concreto armado en zonas con tipo de clima cálido sub-húmedo, ya que genera afectaciones negativas en la salud y economía del usuario, además de contribuir a la generación de emisiones de GEI como consecuencia del consumo energético excesivo en la vivienda, así como ser partícipe en el fenómeno isla de calor, ya que al sustituir la capa vegetal por la capa asfáltica y concreto, en conjunto con los demás inmuebles se propicia un microclima urbano desfavorable debido a las características de los materiales con los que se edifica, provocando el aumento de temperaturas en el contexto inmediato.

Esta serie de fenómenos son ocasionados como una cadena de consecuencias debido al comportamiento térmico inadecuado de la cubierta de concreto armado, por lo que es necesario modificar dicho comportamiento para minimizar las afectaciones negativas tanto a los usuarios como al medio natural en el contexto inmediato.

Como resultado de este cambio, se podría reducir un porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero, y por tanto contribuir de cierta forma para contrarrestar el calentamiento global.

Las características del concreto lo hacen popular entre los habitantes, cuestiones sociales como: estatus económico, durabilidad, seguridad y patrimonio familiar, son las causantes de encontrar asequible la construcción de la cubierta de la vivienda con concreto armado.

Sin embargo y como se ha demostrado, dicha cubierta no responde favorablemente en cuestiones térmicas ante el tipo de clima cálido sub-húmedo, generando grandes impactos en el gasto energético de la vivienda y como consecuencia mayores emisiones de GEI contribuyendo al aumento del calentamiento global, es entonces, cuando entra en cuestión el tema de la arquitectura sustentable, que busca principalmente minimizar el impacto ambiental de las edificaciones en el contexto.

El objetivo principal de la teoría sustentable busca contrarrestar los efectos del calentamiento global, ya que de continuar con la cultura consumista, los recursos naturales se verán condicionados para la generaciones futuras.

También se enuncian diferentes alternativas de solución para el mejoramiento térmico de las cubiertas de concreto armado, una de las alternativas que presentó mayor relevancia fue la cubierta naturada, debido a que cubre la mayoría de las áreas planteadas como necesidades insatisfechas, ya que recuperamos el área de capa vegetal perdida, además las características de la vegetación son favorables para contrarrestar los efectos del calentamiento global.

Pero, como se menciona en la situación final, dichos beneficios únicamente repercutirán a nivel urbano si se logra una apropiación y adaptación de la tecnología en el contexto.

Es entonces, cuando de la confrontación y análisis de ambas situaciones es posible obtener los objetivos de la presente investigación, la ausencia de elementos y factores de la situación inicial, las necesidades insatisfechas y la necesidad de modificarlas en contraposición de la situación final delimitada por la situación condicionada nos arrojan las acciones para atacar en la presente investigación.

Respondiendo siempre a la ideología de impactar globalmente y únicamente se logrará esto si las estrategias son aplicadas de manera masiva, en este caso una de las condicionantes principales será adaptar la estrategia pasiva a todo tipo de cubiertas de concreto armado ya sea nueva o existente.

Con dichas condicionantes surge la definición de los objetivos pretendidos, por lo cual se requiere del proceso de adaptación tecnológica de un sistema de naturación pasivo, el cual sea de un precio accesible, que se permita instalar en las cubiertas existentes de concreto armado, por lo que se deberá adaptar a las cargas estructurales permitidas para las losas armadas.

Además, de no encarecer el sistema con mano de obra especializada, y por sus características integrarse de manera sustentable al medio natural.

Aportando todos los beneficios mencionados de la naturación de cubiertas, pero siempre adaptándose a las características del contexto inmediato.

Por tanto, los objetivos pretendidos en la presente investigación, se definen a continuación

Objetivos

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Objetivos

General:

Realizar y evaluar un prototipo de contenedor verde como estrategia pasiva para el mejoramiento térmico de cubiertas de concreto armado en clima cálido- subhúmedo, que responda favorablemente ayudando a disminuir las emisiones de GEI, impactando directamente sobre el calentamiento global.

Específicos:

- Realizar un proceso de adaptación tecnológica para un contenedor verde en la zona de estudio.
- Diseñar un prototipo de contenedor verde, compatible con cubiertas de concreto armado existentes en la zona.
- Evaluar experimentalmente el desempeño térmico del prototipo contenedor verde.
- Lograr que el prototipo mejore el desempeño térmico de la cubierta de concreto armado y que su peso sea adecuado para instalarse en cubiertas de interés social sin dañar su estructura.

Hipótesis

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Hipótesis.

La adaptación tecnológica de un contenedor verde permitiría el uso de la vegetación a nivel cubierta la cual serviría como aislante térmico y elemento de sombreado, logrando que la cubierta no reciba radiación directa, y por lo tanto la ganancia térmica no sería excesiva, evitando en gran parte el calor radiante al interior de la construcción, dejando de contribuir al incremento de la temperatura interior; como resultado disminuye la necesidad de utilizar medios mecánicos para enfriar, reduciendo el consumo energético y al dejar de producir mayores cantidades de energía se evita contaminar la atmósfera disminuyendo las emisiones de GEI.

Capítulo 02 – Metodología de la investigación

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

2.1. Metodología de la investigación.

2.1.1. Recopilación de Información.

A continuación se presenta la metodología adoptada para desarrollar la investigación, teniendo como principal objetivo la generación y desarrollo de los objetivos generales y específicos planteados en torno a la situación actual en la que se encuentra el objeto de estudio.

Para el acopio de información se recurrió a fuentes primarias, secundarias y terciarias; en búsqueda de la información existente, por otro lado también se necesito obtener información de campo de manera experimental en búsqueda de la información faltante necesaria para alcanzar el objetivo de esta investigación.

2.1.2. Procesamiento de información.

2.1.2.1. Pasos de la Metodología:

Es primordial mencionar la metodología en la cual se fundamentó la presente investigación, ya que se retoma y representa el proceso de diseño para la adaptación tecnológica; Castañeda Nolasco (2010) En su artículo “Adaptación Tecnológica para Techos: Sistema Domotej” menciona 5 variables priorizadas para la adaptación tecnológica a contextos específicos: Resistencia mecánica, materiales de la región, cultura constructiva, precio y comportamiento térmico.

A continuación se presenta la metodología en la cual se basó esta investigación, este proceso está esquematizado en la figura 1 y muestra los pasos realizados para la generación de la propuesta.

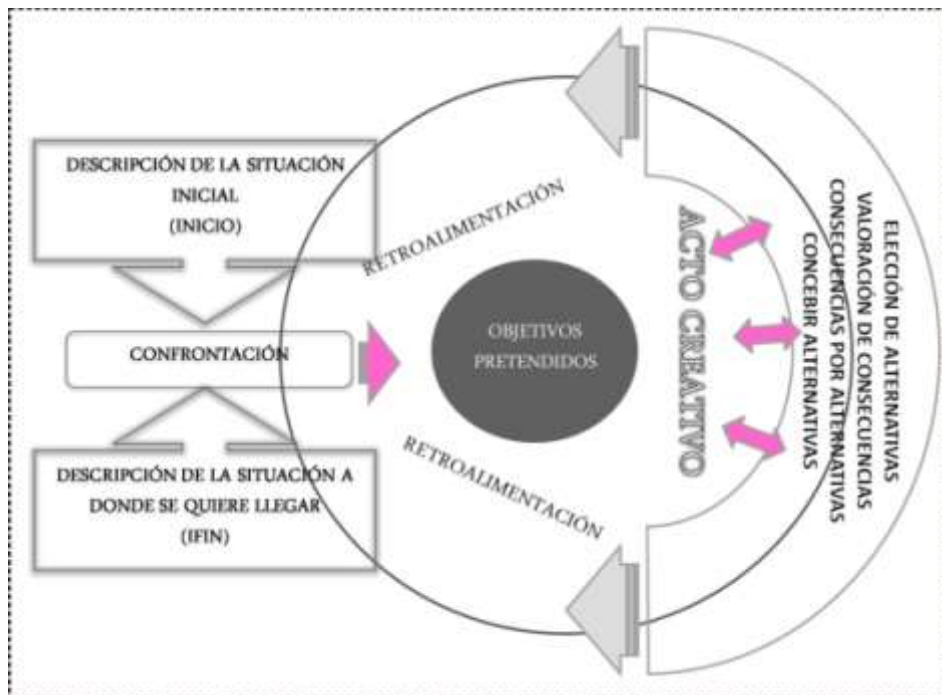


Figura 4: Esquema de diseño aplicado al desarrollo de la propuesta de adaptación del sistema de techo para vivienda social. Retomado en su totalidad de: Castañeda Nolasco (2010), basado en Baxter, 2005.

El proceso consta de 9 partes integrantes derivadas de una planeación racional de actividades, pese a que se reconoce que en un proceso de diseño de esta naturaleza no se integra el momento del acto creativo, el momento que André Ricard llama el momento de la “chispa creativa” (RICARD, 2000), refiriéndose al momento en el que al proyectista “le llega la idea innovadora” y deriva con su trabajo el desarrollo de una propuesta, se plantea como un medio para lograr la generación de la propuesta deseada.

En el esquema se integran dos componentes que muestran la “automática” reacción del proyectista de derivar ideas permanentes (retroalimentación y acto creativo) durante el proceso, producto de su capacitación en la disciplina o ejercicio profesional, una vez que cuenta con información pertinente para la generación de los objetivos buscados. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

Descripción del esquema integrando el proceso aplicado a la investigación para la generación de una propuesta arquitectónica:

2.1.2.1.1. Descripción de la Situación Inicial:

En toda generación de propuesta arquitectónica siempre se deberá tomar en cuenta la situación inicial que tiene o en la que se encuentra, la cual debe de ser modificada, superada o intervenida por alguna razón importante, en ocasiones puede referirse a una oportunidad de negocio, demanda de mercado, la necesidad de un producto u objeto, una necesidad de un sector social, etc. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.2. Descripción de la Situación Final:

La determinación de esta situación tiene como requisito un amplio repertorio de conocimientos del tema en cuestión, información relevante que oriente la toma de decisión, en esto influyen 2 factores el racional y el intuitivo que como se ha mencionado es inexplicable pero no se puede ignorar su existencia, ya que, cada profesionista adopta sus propios alcances perceptivos. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

Por otro lado, la situación final es la resultante éntrela situación ideal y la situación condicionada por el contexto (natural, artificial y social), además uno de sus componentes importantes es el estado del arte específico, respondiendo a las siguientes interrogantes: ¿Quién?, ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Cuánto?, ¿Con Qué? Se ha atendido la situación inicial en otras experiencias. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.3. Confrontación de las 2 situaciones anteriores:

Esta confrontación se realiza mediante el análisis de las 2 situaciones; inicial e ideal, comparando las ventajas y desventajas de la situación inicial con lo que se pretende alcanzar. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.4. Definición de los Objetivos Pretendidos:

Los objetivos que se presentan al inicio de esta investigación se derivaron de la comparación, anterior mediante el análisis de las 2 situaciones, en donde la diferencia existente será lo que se pretende realizar y que si se logra no llevará a la situación final (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.5. Concebir Alternativas:

En esta etapa se realizarán diferentes tipos de ejercicios de estimulación creativa, para alcanzar el momento “creativo”, en esto entra en juego el repertorio, habilidades y sensibilidad de quien diseña o proyecta. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.6. Consecuencias por Alternativas:

En este punto deberemos contar con una serie de alternativas o propuestas las cuales nos resultaran del apartado anterior, habiendo analizado las propuestas se referirá a los aspectos derivados de la aplicación de la posible alternativa, mostrando la posibilidad de elección entre las diferentes propuestas. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.7. Valoración de las Consecuencias:

En esta etapa se valoran las ventajas y desventajas de cada propuesta realizada, para la elección de una propuesta que se adapte mejor al contexto inmediato y que abarque la mayor cantidad de nuestros objetivos buscados. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.8. Selección de Alternativa:

Finalmente se define la propuesta, la cual deberá ser la que más se aproxime a la situación a la que se pretende llegar, logrando así los objetivos planteados. (CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.2.1.9. Desarrollo de la Propuesta (Contenedor):

En este apartado se comienza con el desarrollo de la propuesta tecnológica, seleccionando los mejores casos del estado del arte, aumentando las ventajas y disminuyendo las desventajas, adaptando la propuesta al contexto, se pretende lograr cumplir los objetivos formulados y generar una propuesta viable y sobre todo rentable.(CASTAÑEDA N. G., 2005)

2.1.3. Análisis de la Información.

2.1.3.1. Análisis Climático.

Para el análisis climático es fundamental ubicar el contexto en el que se encuentra enmarcada la investigación o caso de estudio, sus características ambientales y condicionantes climáticas forman parte delimitadora del proceso analítico.

Para desarrollar el trabajo experimental se decidió realizar la comparación de las temperaturas superficiales de 2 sistemas de techo: cubierta tradicional de concreto armado y cubierta naturada con sistema modular; para realizar dicha comparación se determinó un periodo representativo de calor con base en las normales climatológicas del contexto y apoyándonos en la teoría de la climatología dinámica; además se determino un día típico experimental (Vecchia, 1997).

Equipo de Mediciones.

El equipo de mediciones térmicas utilizado durante el experimento fue de la familia HOBO 8 Pro Series loggers y mediante un canal externo, con un cable termopar TMCx-HA HOBO (Ver Figura 1), a través de lecturas automáticas de datos cada media hora, este lapso fue del 08 al 13 de Junio definido como nuestro periodo representativo.



Figura 5. Equipo de Registro Térmico continuo, de la familia HOBO.

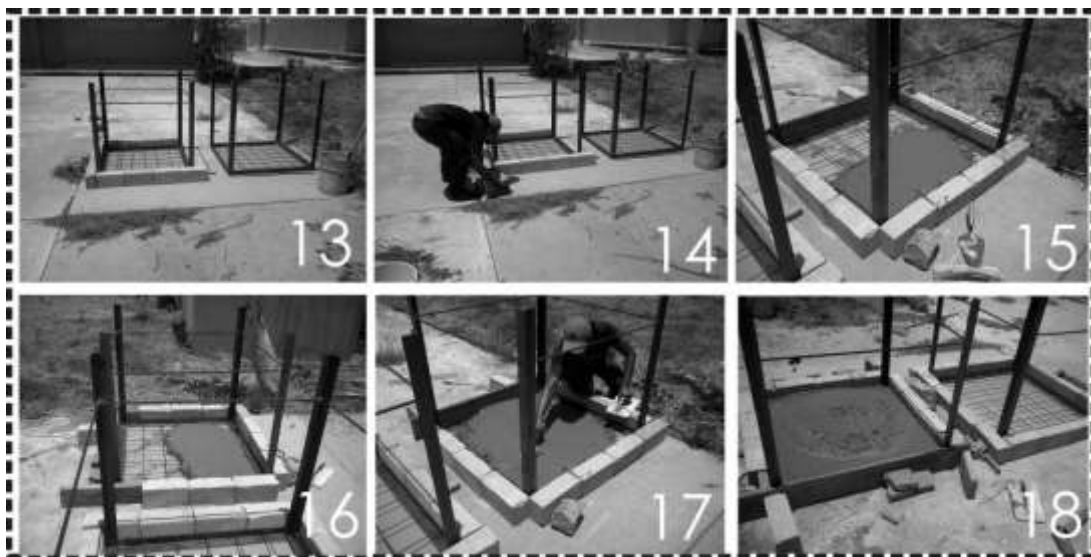
Esta información es recabada por el equipo HOBO Shuttle y procesada mediante el programa de cómputo HOBO Pro 4.

Para la correcta ejecución del experimento se realizaron mediciones en 2 células en condiciones idénticas, se colocaron 2 HOBOS con un cable termopar TMCx-HA HOBO.

Proceso constructivo de células de evaluación.

Por motivos de presupuesto las células fueron diseñadas con dimensiones de 1mx1mx1m, con estructura angular de 2", y malla electro soldada para agregar acero a la losa 6/6-10/10.

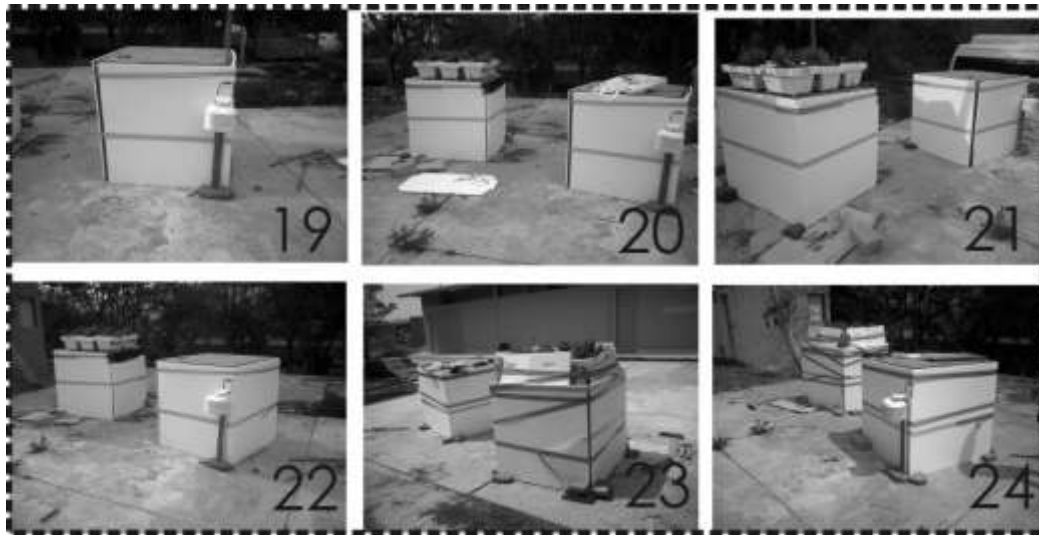
Se colaron en el suelo en posición invertida, con cimbra muerta de tabicones y cartón para la parte inferior, posteriormente ya coladas y curadas las losas fueron volteadas a posición vertical.



Fotos (13-18): Proceso constructivo de células de concreto armado 1mx1mx1m. Realizado in situ por el autor.

Para colocar los HOBOS se ranuró por debajo de cada una de las losas al centro, y se apuntalaron para lograr una mayor superficie de contacto con la losa, se aisló con unicel en la parte inferior y se pego utilizando cinta canela.

Para aislar las células en las paredes se colocaron placas de unicel de 2cms de espesor de 1m², en las 4 caras en ambas células, posteriormente se colocaron los contenedores sobre una de las losas ya saturados de agua y con la vegetación listos para su instalación.



Fotos (19-24): Aislamiento y colocación de contenedores en células experimentales. Realizado in situ por el autor.

Así mismo se colocó un sensor exterior añadido a una de las células para conocer la temperatura ambiente y realizar las comparaciones pertinentes.

Proceso de descarga de mediciones obtenidas.

Una vez realizadas las mediciones fue necesario descargar la información obtenida en el periodo experimental representativo definido, procesándola mediante el programa de cómputo mencionado HOBOT Pro 4, lo anterior se realiza con el siguiente proceso:

1. Una vez recuperados los hobs son llevados a la sala de procesamiento de información en donde se cuenta con una computadora con el software HOBOT pro 4 fundamental para extraer la información grabada por los hobs.
2. Se da apertura al software.
3. Se conecta el hobo a un cable USB que va hacia el equipo.
4. Una vez conectado reconoce el dispositivo y automáticamente arroja la pregunta si desea detener las mediciones o descargar la información y continuar midiendo una vez concluido el proceso.
5. En este caso no se necesitaba continuar con las mediciones por lo que se eligió dicha opción.
6. Se da apertura a la interfaz del software.
7. Una vez dentro únicamente debemos de ir a la ventana archivo, download que es un icono con forma de flecha verde, lo cual comienza la descarga.
8. Nos da un cuadro de opciones en las cuales deberemos definir la zona horaria y escala de medición de temperatura ($^{\circ}\text{C}$ ó $^{\circ}\text{F}$).
9. Una vez definidas las características requeridas se comienza la descarga de la información.

10. Al descargar la información nos arroja una serie de datos .txt y una grafica que arroja el software esquematizando los resultados obtenidos.
11. El siguiente paso es exportar la información a formato Excel; ventana archivo, exportar y seleccionamos la opción de formatos a Excel.
12. Una vez exportando los datos se ordenan en el software Excel según las necesidades de la investigación, en este caso era primordial ordenar mediante fecha, hora y temperatura para realizar la comparación.
13. Graficar los datos, (se sugiere grafica formato líneas).

2.1.3.2. Método de diseño.

Enmarcándonos en la metodología base y ya que esta investigación tiene por objeto el desarrollo de una tecnología de modulo contenedor verde, el diseño de la misma tiene que responder a las características básicas y fundamentales de la adaptación tecnológica, los cuales según lo menciona Castañeda (2010), al lograr responder a estas 5 variables priorizadas, se promueve una apropiación y por lo tanto una repetición en el contexto de la tecnología introducida.

A continuación se mencionan las variables priorizadas a las que respondió el diseño del modulo contenedor verde:

1. Resistencia mecánica
2. materiales de la región
3. cultura constructiva
4. precio
5. comportamiento térmico

El proceso de diseño de la forma y sus componentes fue el siguiente, André Ricard un diseñador industrial maneja quien propone una serie de ejercicios de estimulación creativa, en la cual el origen de los resultados, aun a posteriori es difícil de explicar, lo llama “el momento creativo”, motivo por el cual es relevante reconocer que el método no lo es todo, se requiere además de las habilidades y la sensibilidad originada en el repertorio de quien diseño o proyecta (CASTAÑEDA G. N., 2010).

Además, Baxter (1998), propone en su proceso de diseño una herramienta denominada **MESCRAI**, Modifique, Elimine, Sustituya, Combine, Reordene, Adapta, Invierta; este sencillo proceso permite modificar las características de un elemento sin alterar sus funciones principales.

Eso fue lo que se realizo con el contenedor, una vez estudiado el estado del arte en cubiertas naturadas se realizó la confrontación de los 2 sistemas para ver las ventajas y desventajas de cada uno, seleccionando como el optimo para la región al sistema de

naturación modular, ya que tiene mayores ventajas que el integral, tratando de aumentar las ventajas y disminuir las desventajas se analizaron los contenedores más populares de dicho sistema, dejando intactas sus características principales para su correcto funcionamiento, se pudo lograr la optimización del elemento con las mejores propiedades de cada uno de los contenedores estudiados. (Baxter, 1998)

Como primer paso se presenta la concepción de alternativas, confrontación de los sistemas de naturación, esto nos permite analizar el estado del arte que presentan actualmente sus características a favor y en contra, tomando como referencia dichos resultados se logra optar por el más adecuado al contexto en el que se enmarca la investigación para que posteriormente nos sirva como punto de partida al momento de desarrollar el diseño de la tecnología.

Además, se determinan una serie de características del componente que no pueden ser modificadas ya que al alterarlas, modificarían sustancialmente la función del contenedor.

Así mismo, existe una serie de especificaciones del contenedor que debieron ser adaptadas al contexto, enmarcadas en las condicionantes físicas, económicas y sociales.

Posteriormente, viene el proceso de adaptación con las 5 variables priorizadas y el método mescrai, para la búsqueda y desarrollo de nuevas formas para las alternativas.

A continuación se presenta el desarrollo del modulo que consiste en analizar desde las variables priorizadas por la fundamentación metodológica hasta las características específicas que dieron como resultado la forma, los materiales seleccionados, el funcionamiento y la elección de alternativas de instalación.

Sistema de naturación modular.

La tecnología empleada consiste en el desarrollo de un modulo contenedor de vegetación capaz de capta y almacenar agua y a su vez lograr que por capilaridad la planta logre abastecerse del agua que necesite, minimizando así la necesidad de constante riego, que significa menor mantenimiento.

Los Componentes:

La tecnología responde a los elementos básicos que un sistema de naturación debe integrar según la Norma Ambiental (AMBIENTE, 2007) (ver figura 3).

Componentes de un Sistema de Naturación:

- Vegetación
- Capa de Substrato
- Capa Filtrante
- Capa Drenante
- Membrana impermeabilizante anti-raíz
- Impermeabilización
- Riego

Capítulo 03 – Diseño

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

3. Diseño del prototipo.

A continuación se describe el proceso de diseño del módulo "*contenedor verde*" como estrategia pasiva, generando así una alternativa para el mejoramiento térmico de las cubiertas de concreto armado, además, se explica la selección de alternativas de solución, la definición de las características particulares a las que responde el sistema, desarrollando a través de cada uno de estos apartados un proceso de adaptación tecnológica, para poder obtener los mayores beneficios de la propuesta.

3.1. Concebir alternativas.

Una vez realizada la investigación acerca del estado del arte de los sistemas de cubiertas naturadas, analizando las características y especificaciones de cada uno de los sistemas, se comenzó la concepción de las alternativas de solución.

Teniendo validada la viabilidad de los sistemas de naturación, como mejoramiento pasivo para las cubiertas de concreto armado, tanto nueva como existente, para zonas con clima cálido-subhúmedo, se realizaron una serie de ejercicios de estimulación creativa, con la finalidad de encontrar alternativas para el desarrollo de la propuesta pasiva como estrategia de solución a la problemática en cuestión.

las alternativas obtenidas, surgen al momento de realizar la investigación del estado del arte, se hizo una selección de los sistemas de naturación con mejores resultados y así mismo lo que han tenido mayor aceptación; al contar con múltiples alternativas en el mercado, fue necesario realizar un proceso de selección entre estas, ya que, todas contaban con ventajas y desventajas para poder cubrir las necesidades de la problemática expuesta.

3.1.1. Confrontación de los sistemas de naturación.

La valoración de las alternativas se desarrollo a través de la confrontación de los sistemas entre sí, logrando tener una amplia visión acerca de sus características importantes.

Este apartado se enfoca a resaltar la ventajas y desventajas de los sistemas con mayor relevancia en el mercado de las cubiertas naturadas, con la finalidad de rescatar las características esenciales que se deberán respetar de cada sistema y la identificación de los puntos fuertes y débiles de cada propuesta.

Una vez resaltados dichos puntos, se pueden identificar claramente las mejoras que se deben realizar para su óptimo desempeño, aplicando los resultados obtenidos como puntos base en la generación de la nueva alternativa de solución para sistemas de cubierta naturada.

a continuación se expone la serie de cuadros comparativos realizados para obtener los resultados anteriormente descritos:

Sistema Modular Ecoverde:

Cuadro 1: Cuadro comparativo ventajas y desventajas sistema Ecoverde de sistema cubierta modular naturada.

Desventajas:	Ventajas:
Está diseñado específicamente para el Distrito Federal.	De fácil instalación.
Al utilizar 2 recipientes aumenta el precio del modulo.	Mantenimiento de fácil acceso.
La cantidad de agua que almacenan las patas del modulo incrementa 6Kg a la carga adicional sobre la estructura.	La planta se nutre del agua almacenada por capacidad, disminuyendo la necesidad de riego constante.
El plástico al ser verde translucido permite la penetración de iluminación de los rayos UV, y al mantener almacenada el agua, produce la generación de	De fácil almacenamiento y transporte.
microorganismos al interior, lo que da como resultado un aspecto desagradable con apariencia anti higiénica.	No requiere mano de obra especializada.
	Sus componentes no son tan elaborados como en el sistema integral.
	Apto para casi todas las cubiertas de concreto armado; existentes o nuevas.

Fuente: (VERDE, 2010); creado por el autor.

LiveRoof:

Cuadro 2: Cuadro comparativo LiveRoof, ventajas y desventajas de sistema modular de cubierta naturada.

Desventajas:	Ventajas:
La cantidad de agua que almacena no es apta para la autosuficiencia de las planta, por lo que requiere de un sistema de riego integral.	De fácil instalación.
Demanda mano de obra especializada.	Crea un ecosistema general al tener unión en los módulos.
La instalación requiere de maquinaria específica lo que aumenta su precio.	Sistema de riego integrado.
No existe empresa alguna que brinde el servicio en la localidad.	Sus componentes no son tan elaborados como en el sistema integral.
Por lo tanto el mantenimiento y la evaluación del sistema sería esporádica o nula.	

Fuente: (LIVE, 2009), creado por el autor.

A continuación se presentan las características por las cuales el sistema de naturación integral es descartado para la presente investigación.

Sistema Integral:

Cuadro 3: Cuadro comparativo ventajas y desventajas de sistema integral de cubierta naturada.

Desventajas:	Ventajas:
El sistema representa un proceso especializado y laborioso.	Logra una integración entre la estructura de soporte y el sistema de naturación.
La fabricación de la mayoría de sus componentes son elaborados con un control de calidad preciso, lo que requiere de una mayor inversión en su instalación.	Generación de un ecosistema integral.

Requiere de mano de obra especializada para su instalación y desinstalación.	No necesita de constante riego por el sistema integrado.
Demanda una amplia cantidad de tiempo en la colocación de todos sus componentes.	
la fabricación de sus componentes es aislada, lo que aumenta el costo tanto económico como ambiental.	
No existe empresa alguna que brinde el servicio en la localidad.	
Por lo tanto el mantenimiento y la evaluación del sistema sería esporádica o nula.	
Requiere de un sistema integral de riego.	
Tiene que responder a especificaciones técnicas de norma; lo que en algunos casos implicaría realizar modificaciones en el inmueble.	
No es apto para todo tipo de cubiertas por la carga muerta que representa sobre la estructura.	

Fuente: (ROOF, 2011) creado por el autor

Como consecuencia de la comparación de los distintos sistemas presentados, además de los argumentos en contra, también se observan ventajas que nos dan un amplio criterio acerca de la viabilidad y la posibilidad de su realización y adaptación en Tuxtla Gutiérrez, al realizar un análisis costo-beneficio se optó por el Sistema Modular, ya que, para que exista una aceptación y por lo tanto su repetición en la zona, se requiere de una apropiación del sistema.

Con el sistema modular de naturación se podría lograr dicho objetivo, ya que es de fácil instalación, flexible y económico. (CASTAÑEDA G. N., 2010)

Por lo anterior, se reflexionó que la tecnología de Sistema modular de cubierta naturada, convendría ser adaptada al contexto de estudio, intentando reducir las desventajas e incrementando las ventajas y regionalizándola para su posible aceptación. (CASTAÑEDA G. N., 2010)

3.1.2. Características que no pueden modificarse.

Una vez teniendo como alternativa priorizada el sistema de naturación modular, es importante descomponer el todo en sus partes, para identificar los elementos claves que serán fundamentales en el proceso para el desarrollo de la propuesta.

Analizando la tecnología en estudio, en este caso el sistema de naturación modular, se seleccionaron los aspectos funcionales que al modificarlos lo alterarían sustancialmente y afectarían su desempeño, del análisis mencionado se determinó que los elementos que a continuación se presentan, no pueden ser modificados al sistema inicial de naturación modular:

- **La modulación**, ya que los contenedores son módulos aislados e independientes, y permiten crear ambientes integrales con su repetición, pero agilizan su instalación y mantenimiento.
- **La lógica** en el orden de los elementos, ya que los elementos básicos componentes de un sistema de naturación (sustrato, filtrante, drenante, antirriz), deben estar acomodados de manera que actúen en el proceso base para mantener el sistema de naturación.
- **La contención**, ya que la capacidad contenedora que ofrece el captador de agua, genera menor mantenimiento y mejora el comportamiento del sistema.

Además, se definieron características que en el sistema modular de naturación, deberán ser adaptadas al contexto, incluyendo tres factores principales: físicos, económicos y sociales:

- Mantener el mismo principio de amortiguamiento de la radiación hacia la cubierta.
- Mantener la característica de almacenamiento y embalaje en el mínimo espacio.
- Deberá ser fabricado con materiales ligeros, con una carga muerta de incidencia baja sobre la estructura y resistentes a los rayos ultravioletas.
- Un proceso de instalación que permita la participación indistinta de hombre o mujer en la colocación de los componentes.
- La dimensión del componente, su forma y los materiales de fácil acceso para el usuario, logrando que pueda ser un componente prefabricado de fácil manejo y adopción por el contexto social.
- Reducir la cantidad de componentes para disminuir el precio.

3.1.3. Proceso de adaptación tecnológica.

Fundamentándonos en la investigación realizada por Castañeda (2010), indica que existen 5 variables priorizadas para lograr la adaptación tecnológica a un contexto específico, como se menciona en la metodología, las variables priorizadas son las siguientes:

1. Resistencia mecánica
2. materiales de la región
3. cultura constructiva
4. precio
5. comportamiento térmico

3.1.3.1. Resistencia mecánica.

El desarrollo del contenedor verde respecto a la resistencia mecánica, al optar por un sistema modular se tomo en cuenta la resistencia estructural de las cubiertas de concreto armado comunes, aproximadamente 250 kg/cm² ya que para que exista una apropiación y repetición en la zona se buscó integrar la tecnología a las cubiertas existentes, además se buscó lograr una incidencia baja en la carga muerta hacia la estructura de la cubierta para poder ser utilizada en las viviendas de interés social las cuales son las de mayor afluencia en el contexto.

3.1.3.2. Materiales de la región.

Enmarcados en el enfoque sustentable de la investigación se buscó utilizar materiales reciclados, que respondieran a las características esenciales del contenedor pero que tuvieran un aporte en el ahorro energético, impacto ambiental y así mismo lograr que fueran materiales accesibles y de uso común para lograr una identificación con el producto.

3.1.3.3. Cultura constructiva.

En cuanto a cultura constructiva era primordial conocer la cubierta de mayor popularidad y desarrollar una tecnología adaptable a este tipo de cubiertas, es importante respetar la cultura constructiva debido a que son costumbres que se han ido adquiriendo con el tiempo y con los avances tecnológicos que difícilmente serán modificadas y cuando hablamos de adaptación lo que se busca es la apropiación de la tecnología así que lejos de contraponerse a la tecnología existente debe buscar integrarse para promover su repetición.

En este caso la cubierta de concreto armado representa la cubierta de mayor porcentaje en el contexto, además de ser un elemento que los usuarios buscan obtener como signo de solvencia económica, status, durabilidad y seguridad para el objeto arquitectónico y sus habitantes.

Por tal motivo se el desarrollo del contenedor siempre estuvo siguiendo estas limitantes para lograr adaptarse a las cubiertas existentes y nuevas de concreto armado respondiendo a las características físicas y estructurales de la misma, para poder integrarla sin necesidad de alterar absolutamente nada del sistema constructivo establecido.

3.1.3.4. Precio.

Algo que determina si una tecnología es aceptada o no por la población es el precio, es importante mencionar que el contenedor al ser un sistema modular resulta de fácil acceso, es decir, al poder comprar el sistema por piezas el usuario puede ir adquiriendo las cantidades de contenedores que necesite en el lapso del tiempo que establezca y según sus posibilidades, ya que al ser independiente entre si, la instalación se puede realizar por etapas, es claro que los beneficios no serán los mismos hasta completar cubrir el área con el sistema, pero no deja de seguir brindando beneficios a la cubierta.

Además se buscó hacer de la instalación un proceso de autoconstrucción en el que el mismo usuario puede brindar la mano de obra, un tipo de proceso autoconstructivo, que al no requerir de mano de obra especializada se está ahorrando un gasto extra en la instalación del sistema, lo cual lo hace aun más accesible.

Otra de las características importantes del contenedor es que es un sistema que si bien es cierto se requiere de una inversión inicial, los beneficios que se obtendrán con la implementación del sistema en el objeto arquitectónico lograrán que la inversión inicial se vea recuperada en un lapso de tiempo, con el ahorro económico que se obtenga de la disminución en el consumo energético, además de brindar beneficios ambientales y sociales con la participación en la nueva cultura sustentable.

Existen también nuevas leyes que impulsan la aplicación de nuevas tecnologías sustentables, desde mayores créditos hipotecarios hasta el aumento de la plusvalía del inmueble en un 10% al contar con una cubierta naturada; lo que hace viable la inversión al momento de decidir adquirir este tipo de sistema.

3.1.3.5. Comportamiento térmico.

El comportamiento térmico es una de las variables más importantes, ya que, si la tecnología no responde favorablemente a las condiciones climáticas del contexto con un comportamiento térmico adecuado, no será viable para cuestiones de adaptación.

Por lo tanto en el desarrollo del módulo contenedor, uno de los principales objetivos fue mejorar el comportamiento térmico de las losas de concreto armado, por lo tanto se fundamentó con el empleo de componentes y materiales con una inercia térmica amplia, con un calor específico que permitiera absorber la mayor cantidad de energía, cuestiones como volumen de masa y retraso térmico en el sustrato, tomar como ventaja la fotosíntesis que realizan las plantas al transformar la energía y obtener los beneficios en pro de la cubierta, aprovechar al máximo el sombreadamiento que generaran los bloques de los contenedores y el follaje de las plantas, así como el volumen del sustrato en los grados de sombreadamiento según la posición solar.

Todo esto fue fundamental para darle todos los elementos posibles al contenedor, que fueran capaces de mejorar el comportamiento térmico de las losas existentes para poder hacer de este sistema un sistema viable para obtener grandes beneficios sociales, económicos y ambientales, claro es, esto se verá reflejado una vez que se logre su apropiación y por supuesto su repetición en la zona para alcanzar beneficios en conjunto y realmente ocasionar un cambio global.

Tomando en cuenta todas las limitantes y necesidades a cumplir de estas 5 variables priorizadas, y teniendo clara la línea a seguir respecto a cada una de ellas, se comenzó el diseño de la forma y los componentes del contenedor para lograr un sistema integral y adaptable para el contexto de la investigación, en este caso clima cálido –subhúmedo.

Mescrai.

Baxter menciona que existen muchas herramientas para estimular las ideas en el desarrollo de un nuevo producto, entre estas, se adapta la herramienta denominada MESCRAI, que permitirá el desarrollo de la propuesta de adaptación de tecnología para el contenedor de un sistema de naturación modular y que se describe a continuación (CASTAÑEDA, 2010).

Mescrai “modifique, elimine, sustituya, combine, reordene, adapte e invierta” (Baxter, 1998). La lista anterior de acciones estimulan la búsqueda de formas alternativas para el desarrollo del contenedor verde:

- como primera acción se realizó el análisis del funcionamiento del contenedor verde, elemento componente de un sistema de naturación modular, con el cual entenderíamos la estructura básica para armar un sistema de naturación, entender la función de cada uno de los elementos.
- En el mismo sentido se trabajó con las acciones descritas en las siglas MESCRAI: “modifique, elimine, sustituya, combine, reordene, adapte e invierta”(Baxter 1998) con lo cual se logró la estimulación para la búsqueda de formas propuestas sumado al conocimiento de el comportamiento de un sistema de naturación.
- con base a lo anterior se generó la modificación de los componentes de “Ecoverde” y “Liveroof” transformándolos para el desarrollo del prototipo para sistema de naturación modular “contenedor verde”.

Alternativas.

De los ejercicios realizados se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1.- Se crearon diversos diseños de modelos a partir de las modificaciones de las ventajas y desventajas de los sistemas de modulación analizados.
- 2.- El funcionamiento del sistema modular de naturación se adaptó totalmente para el prototipo contenedor verde; Esto debido a la posibilidad de utilizar materiales similares y a la viabilidad demostrada en apartados anteriores.
- 3.- El proceso de instalación se fundamentó al proceso de “ecoverde”.
- 4.- Se eliminó la utilización de 2 contenedores ya que encarecía el precio del producto, además se plantea una forma cónica que pueda recibir una charola y por efecto de la forma embonar en el contenedor, prescindiendo de la necesidad de ocupar un segundo recipiente.
- 5.- Se modificó la forma del captador de agua, ya que el almacenamiento que presenta “ecoverde” agrega 6kg de carga muerta al contenedor, afectando directamente la estructura de la cubierta.
- 6.- Se modificó la forma del contenedor por una forma cónica, para aumentar el área de sombreado a la cubierta y reducir la carga muerta que genera el sustrato.
- 7.- Se definieron los siguientes materiales como potenciales para el desarrollo de la propuesta: unisel, trovisel, y placa de tetrapack termo fusionada.

8.- Se determinaron entre 2 posibles alturas para el prototipo: 15 y 20 cms.

9.- El peso de los elementos componentes, permite su manejo sin necesidad de equipo especializado.

3.2. Consecuencias por alternativas.

Se refiere a los aspectos derivados de la aplicación de la posible alternativa. En este caso se fueron modificando los elementos iniciales, tomando los componentes bases y creando variantes en sus elementos, ya que estaba relacionado directamente con la reducción tanto de peso como de piezas, que al mismo tiempo condicionaba la posibilidad de instalar el sistema en cubiertas existentes, y de hacerlo económicamente accesible para el usuario.

Aunado a lo anterior, el crecimiento progresivo del sistema es una posibilidad que brinda la tecnología, ya que al ser módulos independientes, pueden instalarse a lo largo del tiempo, según las posibilidades del usuario (CASTAÑEDA, 2010).

3.3. Valoración de las consecuencias.

De los diversos diseños de modelos propuestos, diferían en tamaño y material:

Trovisel
Al momento de ensamblar las piezas en la búsqueda de la forma cónica, presentaba gran debilidad en las esquinas, no soportando el peso del sustrato.
No era totalmente impermeable y representaba mayores gastos para lograr su sellado.

Tetrapack
Con este material no era necesario reforzar las esquinas, sin embargo su proceso de elaboración es complejo y requiere de herramienta y equipo especializado.
Surgió la necesidad de mandar a construir una prensar de termofusión, de igual forma, requería de moldes en positivo y negativo de la forma específica del prototipo para lograr el resultado pretendido, lo cual implicaba un gasto mayor de los recursos económicos.
El tiempo de fabricación era considerable.

Unisel
Al analizar este material, se encontraron ventajas imponentes, ya que, era totalmente impermeable con lo cual se lograba el objetivo del contenedor de agua.
Había una forma ya elaborada (hieleras de unisel) que respondían en cierta parte a la forma que se estaba buscando.
Dichas hieleras, podía ser fácilmente modificadas con herramientas básicas de corte.
Son relativamente económicas y su proceso y tiempo de elaboración era el más corto de todas las opciones.

Las tres propuestas diseñadas, diferentes únicamente en el área de sombreado, tamaño y material, se valoró que la de mayor tamaño brinda beneficios superiores, principalmente en la reducción de carga muerta y en el aumento de área de sombreado; con esto se aumenta la viabilidad de adaptar la tecnología del sistema de naturación modular “contenedor verde” a las cubiertas de concreto armado existentes.

Para el proceso experimental y fundamentándonos en las características anteriormente mencionadas, acerca de la selección del material para la creación del prototipo, se optó por el unisel y la modificación a las hieleras prefabricadas, ya que por practicidad, fueron las de mayor conveniencia para la presente investigación.

Otro de los factores importantes en la selección de la alternativa, fue el factor tiempo, ya que se requería de la intervención a la brevedad posible, por la definición del periodo experimental en la época de mayor calor en el contexto.

y finalmente el factor económico, limitado por los recursos disponibles.

3.4. Selección de alternativas.

La tecnología desarrollada entonces, consiste en el diseño de un modulo contenedor de vegetación, capaz de captar y almacenar agua en su interior, a su vez lograr, que por capilaridad la planta logre abastecerse del agua que necesite, para mantenerse en estado optimo, minimizando así, la necesidad de constante riego, que significa, menor mantenimiento.

Además, de ser una tecnología que permita la participación indistinta, tanto del hombre como de la mujer, para su instalación, logrando así, una relación usuario – tecnología, que genera una apropiación del sistema y que a su vez, provoca un ahorro económico al eliminar la mano de obra especializada.

3.5. Desarrollo de la propuesta.

3.5.1. La Forma.

La forma se determinó fundamentada en los parámetros definidos de practicidad en el empleo, manejo e instalación del producto; utilizándose para la realización del modulo como base los elementos de un modelo existente en el mercado pero que mejora las características aumentando sus beneficios y adaptabilidad.

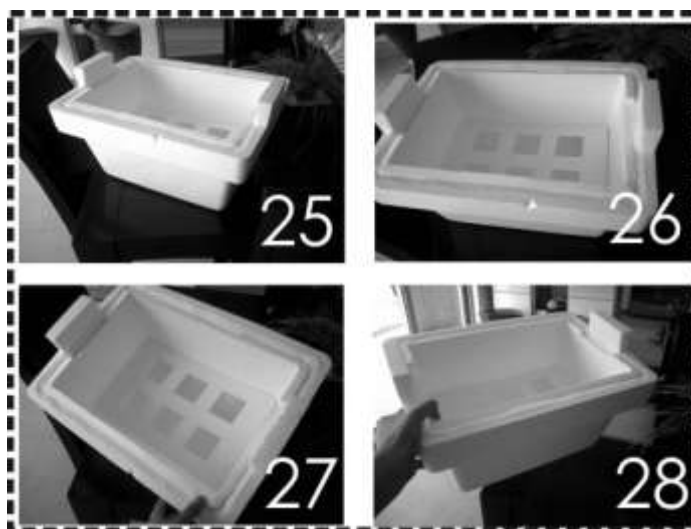
Uno de los principales requerimientos es el manejo y embalaje, el contenedor tiene que poder ser guardado en el mínimo espacio, por lo que se definió que una característica importante era poder apilar los contenedores para ser distribuidos y manejados mediante cajas logrando el máximo almacenamiento en el mínimo espacio.

Como respuesta a dicha necesidad, se llegó a la conclusión que la forma cónica es la más apropiada para poder apilar los contenedores, además agrega una característica que genera beneficios en el producto, con dicha forma se logra hacer una mezcla de sombreado con amortiguamiento térmico, quitándole carga muerta a la estructura, haciendo de esta tecnología una estrategia aplicable a todo tipo de vivienda, lo que la hace viable en el contexto.

Una vez concluido el proceso experimental, se reconsideró el diseño de la forma, inicialmente el prototipo únicamente buscaba lograr la forma cónica, sin embargo, al ver la relevancia y los beneficios del sombreado logrado, se optó por aumentar dicha área.

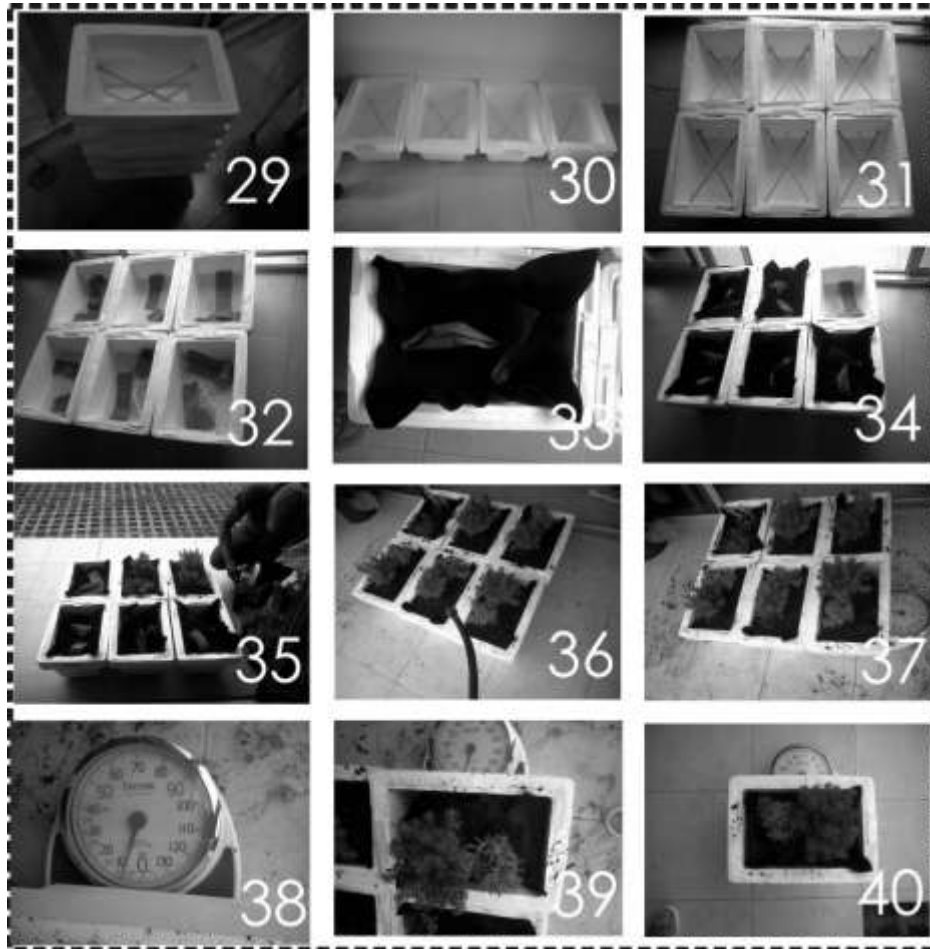
Esto se logró, colocando una pestaña perimetral adicional a la forma original, aumentando así el área de sombreado y reduciendo en gran cantidad la carga muerta que representa el sustrato.

Forma original prototipo experimental a base de unisel



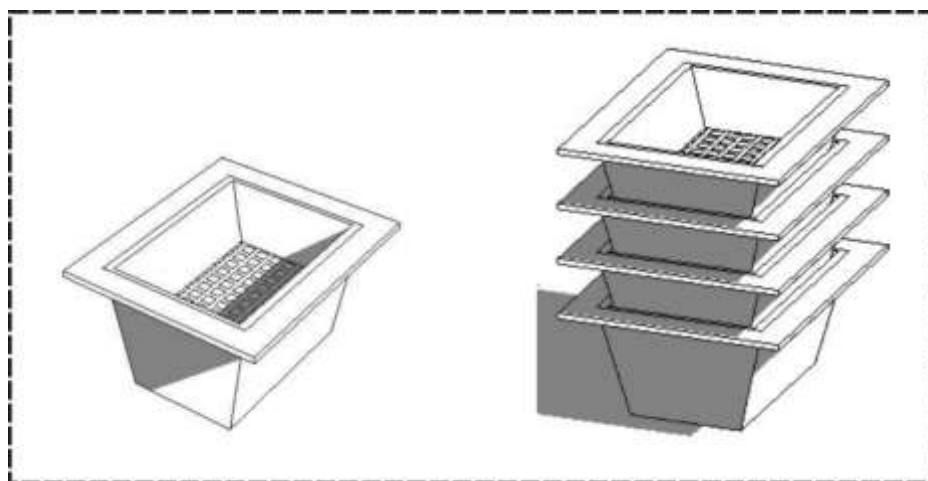
Fotos (25-28): Forma experimental del prototipo contenedor verde para Sistema de Naturación Modular. Realizado por el autor.

La tecnología responde a los elementos básicos que un sistema de naturación debe integrar según la Norma Ambiental (AMBIENTE, 2007).



Fotos (29-40): Proceso de Elaboración de los Contenedores Verdes con sus Componentes. Proceso experimental realizado por el autor.

Figura 6: Diseño de forma cónica con pestaña perimetral y almacenamiento de modulo contenedor verde.



Fuente: Diseño tridimensional con software Revit architecture 2011, creado por el autor.

Otra de las características esenciales a las que debía responder el modulo era a los elementos básicos de un sistema de naturación, contar con cada uno de estos elementos en su configuración para lograr el correcto funcionamiento.

Para el diseño del modulo se realizó una adaptación de cada uno de los elementos básicos y fundamentales del sistema de naturación y se integraron en la configuración de su forma, logrando tener la combinación de dichos elementos en un todo integral.

Los elementos que se integraron al modulo contenedor verde fueron los siguientes:

- Contenedor base
- Textil filtrante
- Bandas conectantes
- Rejilla drenante
- Anti-raíz natural

A continuación se explicará cada uno de los elementos que hacen optimo el funcionamiento del prototipo contenedor verde.

Contenedor base: comenzamos con una base contenedora del todo en este caso llamado contenedor base, que es un recipiente de PET reciclado con forma cónica, lo que va a permitir eliminar el uso de un segundo contenedor para lograr el espacio de separación entre el sustrato y el área almacenadora de agua, logrando únicamente con su forma que la rejilla drenante embone por presión logrando 2 niveles en el contenedor base.

La rejilla drenante: no es más que una placa de PET con orificios pequeños que ayudaran a drenar el agua filtrada por el textil, la rejilla es plana lo suficientemente resistente para soportar el sustrato, para la etapa experimental se colocaron soportes en forma de cruz ya que el material que se logro conseguir para la rejilla no era lo suficientemente fuerte para soportar al sustrato.

Textil filtrante: entre el contenedor base y la rejilla drenante se coloca un textil filtrante que permite separar el agua pluvial de los componentes del sustrato, filtrándose a través del textil y pasando directamente a la rejilla drenante, y por ultimo llegar al área de captación.

Bandas conectantes: otra de las características que se integraron en el diseño del contenedor fue la incorporación de bandas conectantes, estas se colocan entre el sustrato pasando por la capa filtrante y la rejilla drenante hasta estar en contacto directo con el área del contenedor de agua (captación); esto permitirá que por capilaridad la planta absorba el liquido necesario para lograr su estabilidad, a medida que la planta necesite hidratarse las bandas le brindaran un soporte para conseguir abastecerse de agua, con dicha característica estaríamos minimizando la necesidad de un mantenimiento constante.

Anti Raíz: uno de los elementos más importantes en un sistema de naturación es el incorporar un mecanismo anti raíz, ya que las plantas pueden llegar a afectar la estructura de la cubierta; las raíces se esparcen en busca de humedad y en ciertos casos pueden romper la cubierta y afectar la seguridad estructural del objeto arquitectónico dependiendo el tipo de vegetación que se emplee, sin embargo hay mecanismos naturales y artificiales que pueden evitar el crecimiento de las raíces, para el caso del contenedor verde el contar con un captador de agua integrado al fondo del recipiente nos genera un mecanismo anti raíz natural, al contar con la humedad necesaria la raíz no busca humedad y se evita su crecimiento excesivo.

Fortalezas:

Otra de las fortalezas del contenedor con respecto a su forma es el diseño que genera una serie de forma invertida al momento de unir dos o más contenedores, el contenedor cuenta con un perímetro de cinco centímetros como una ceja perimetral, esto logra un efecto de sombreamiento además la altura de la planta y el espesor del sustrato aumentan dicho efecto, al unir dos contenedores se crea un efecto de vacío quitándole carga muerta a la cubierta pero generando aun los beneficios que ofrece el sombreamiento.

Así mismo, dependiendo del ángulo en el que se encuentre el sol aumentará o disminuirá dicho sombreamiento, aunado a esto la altura de la vegetación también influirá en el

comportamiento del control de la radiación ya que además de generar un mayor sombreado, el efecto de la fotosíntesis aumenta los beneficios al convertir la energía radiante.

La inercia térmica también juega un papel importante en el comportamiento térmico del contenedor, ya que al contar con una capa de sustrato estamos retrasando y absorbiendo el paso de la energía radiante que caería directamente sobre la cubierta y sería difundida hacia el interior del objeto arquitectónico por conducción y posteriormente por radiación.

Esto hace que la forma del "*contenedor verde*" y los fenómenos ocurridos y derivados de la misma, sea adaptable a todo tipo de cubiertas debido a su baja incidencia sobre la estructura.

3.5.2. Materiales.

En cuanto a los materiales fueron varias las necesidades por cumplir, se debía conseguir un material liviano, de poco impacto ambiental, accesible, moldeable, duradero, resistente al agua y la intemperie, de fácil acceso, ya que se adaptaría al contexto, y sobre todo resistente a los rayos ultravioleta, ya que estaría en contacto directo con la radiación solar.

Respondiendo a la radiación directa que recibirá el contenedor, es esencial utilizar un material resistente a los rayos ultravioleta, además de ser capaz de contener agua en su interior y la resistencia necesaria para soportar la carga que ejerce el sustrato de tierra.

Los materiales comúnmente utilizados para el empaque y embalaje a nivel nacional son el vidrio, el metal, el papel, el cartón y el plástico, el plástico ocupa un lugar importante dentro de la industria (844 mil toneladas anuales, 8.9Kg/persona)¹, ya que posee características muy particulares que favorecen el manejo y distribución de productos, además de alta resistencia a pesar de ser un material liviano.

El PET (tereftalato de polietileno)¹ es uno de los materiales comúnmente utilizados en la industria embotelladora de bebidas y del embalaje por sus características muy particulares que favorecen la distribución, el almacenaje y la presentación de algunos productos; son ligeros, transparentes, brillantes y con alta resistencia a impactos, tienen cierre hermético, no alteran las propiedades del contenido y no son tóxicos.

Según datos manejados por el PNUMA en 1996, una botella de PET tarda en degradarse 500 años dentro de un tiradero.

¹ polímero que se obtiene mediante una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol. Pertenecen al grupo de materiales sintéticos denominados poliésteres.

Las características de estabilidad física y química del PET hacen que su degradación sea sumamente difícil cuando se convierten en residuos, además de los grandes volúmenes que ocupan dentro de las celdas de disposición final.

A pesar de que las características físicas y químicas aseguran que este material es inerte en el medio ambiente, el impacto visual que produce la inadecuada disposición de estos envases es alto y muy perceptible por la población.

Como consecuencia del problema evidente que representa la acumulación de desechos de este material, la industria incorpora a sus procesos de producción, el material de PET reciclado.

Este material debe cumplir con algunas especificaciones que dependerán para el uso o para el producto que se pretende fabricar, pero en general, se debe contar con un producto de excelente calidad.

Entre los productos que se elaboran a partir de PET reciclado, se pueden mencionar:

- Fibra poliéster
 - Para relleno térmico
 - para alfombras
 - Para ropa
- Material de relleno
- Combustible alternativo
- Madera Plástica
- Envases de productos no alimenticios
- Lámina plana
- Lámina para termoformado
- Fleje
- Monofilamentos y Cabos

Los beneficios de la separación y el reciclaje del PET son muchos, van desde la protección al ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, hasta la disminución de la contaminación y la reducción de focos de infección, enfermedades e inundaciones provocadas por el exceso de basura acumulada en ríos, puentes y canales.

México es el segundo consumidor de la resina para su producción en botellas. Ya que es el segundo consumidor mundial de refrescos. La demanda de la resina virgen es de 700 mil toneladas anuales

Es por esto que se hace indispensable el reciclaje de este material y afortunadamente este tiene propiedades que le permiten ser reciclado. El reciclaje del PET es un proceso de Desarrollo Sostenible, pues trae consigo, entre muchas otras cosas:

Beneficios Sociales: Muchas personas se benefician del proceso, desde la recolección de botellas hasta la fabricación de las fibras.

Beneficios Ambientales: El reciclaje del PET consume 92% menos de energía y reduce emisiones de CO₂ hasta un 72% respecto al proceso de fabricación del mismo a partir de las materias primas. Además, se reduce la acumulación de material que tarda mucho en degradarse y se recupera para usarlo nuevamente en producción de nuevos objetos.

Con base en los beneficios evidenciados, se hace viable la utilización de PET reciclado para la composición del contenedor verde, ya que además de cumplir con las características necesarias en cuanto a su composición física y química, representa un altruismo ambiental.

Es importante aclarar, que dicho material se plantea como una alternativa en la selección final del material para la composición del contenedor verde, sin embargo, mediante un proyecto complementario es necesario realizar una búsqueda exhaustiva que considere las ventajas y desventajas entre los diversos materiales, y finalmente con base a un estudio costo-beneficio definir el material del contenedor.

3.5.3. Instalación.

La instalación del sistema modular de cubierta naturada diseñado para esta investigación se fundamenta en la necesidad de eliminar la mano de obra especializada y poder lograr que el usuario aportara la mano de obra y así lograr una apropiación además por ser modular se puede ir obteniendo de manera paulatina y según el presupuesto que el usuario maneje según su alcance, dichas propiedades permiten que el sistema de naturación sea económico y esté al alcance de la mayoría de la población.

Además por sus características es adaptable a todo tipo de cubiertas de concreto armado ya sean existentes o nuevas incluyendo la vivienda de interés social siendo esta última la que cuenta con mayor repetición en el contexto.

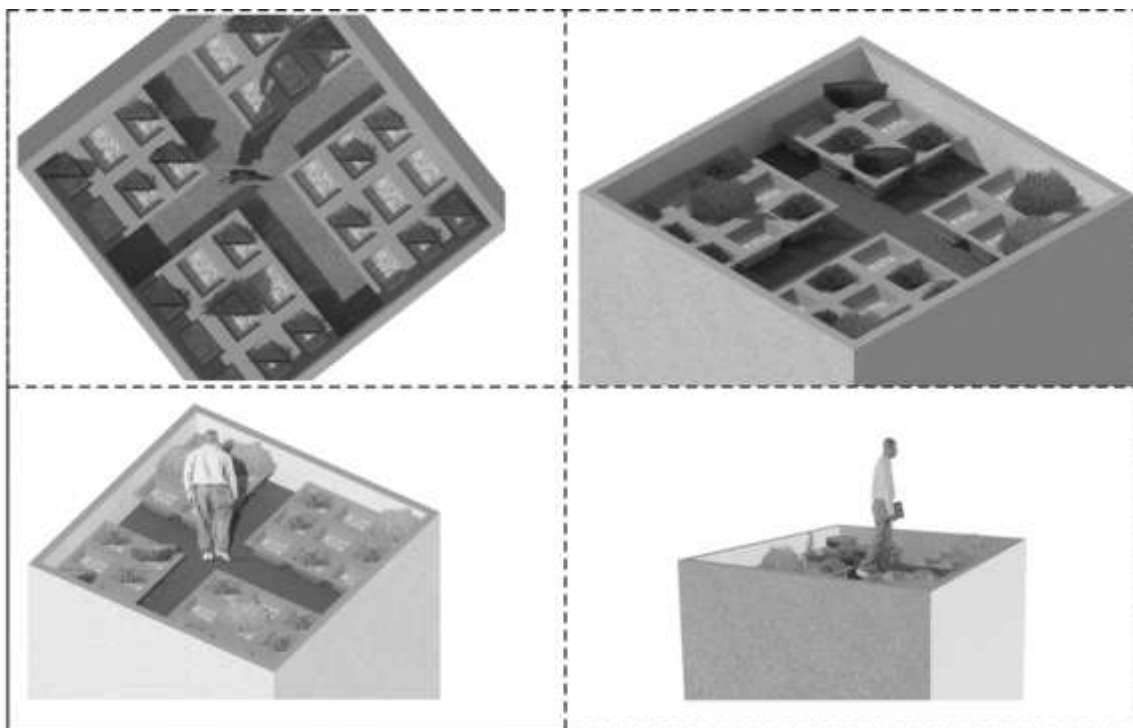
Esto último podría lograr impactar a nivel global si se logra su aplicación y repetición en las cubiertas de dichas viviendas.

Siendo apto para instalarse por cualquier usuario, el proceso de instalación del sistema es el siguiente:

1. Se coloca el contenedor base
2. Se coloca la rejilla drenante
3. Colocar las bandas conectantes
4. Colocar el textil filtrante
5. Una vez colocados todos los elementos, repetir los pasos 1-4 para armar los contenedores que sean requeridos para cubrir el área de la cubierta (los contenedores se pueden armar en el área a intervenir ó en el área que seleccione y posteriormente acarrear los contenedores armados a la cubierta)
6. Ya teniendo los contenedores sobre la cubierta, colocar la primer fila
7. Contando con la primer fila es hora de colocar el sustrato y la planta a cada contenedor
8. Repetir los pasos 5-7 hasta concluir con las filas necesarias para cubrir el área de la cubierta.
9. Iniciar el 1re riego saturando los contenedores para lograr la captación de agua y acumular la cantidad necesaria para evitar el mantenimiento constante.

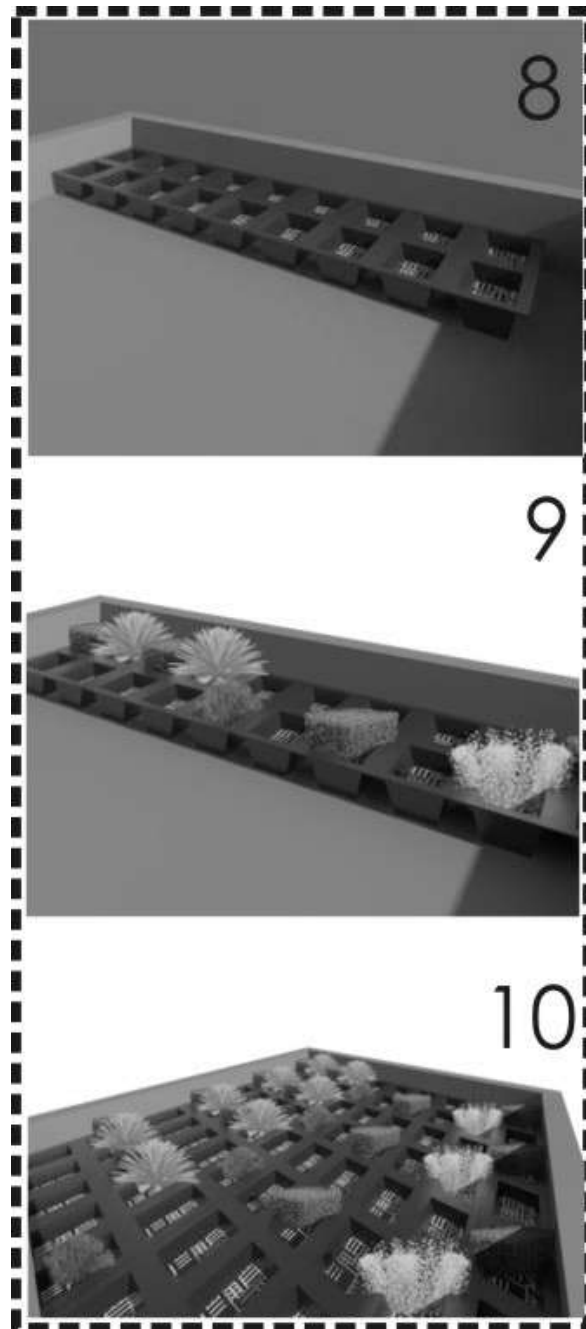
Nota: Se recomienda dejar un área de circulación libre para poder accesar al área por cuestiones de maniobras de mantenimiento posterior (Ver Figura 7).

Figura 7: Área propuesta libre para circulación



Fuente: Diseño tridimensional con software Revit architecture 2011, creado por el autor.

Figuras (8-10): Proceso de instalación de sistema de naturación con contenedor verde, creado por el autor, software Revit architecture 2011.



Fuente: Diseño tridimensional con software Revit architecture 2011, creado por el autor.

3.5.4. Funcionamiento.

El funcionamiento del contenedor es el siguiente, es un hidromacetero capaz de contener cierta cantidad de agua almacenada, que la planta mediante un dispositivo de conexión podrá abastecerse de agua por medio de capilaridad cuando esta lo necesite, además que se arman bloques con los contenedores por vasos conectados que son mangueras que se conectan entre ellos para que al momento de haber almacenado el agua suficiente pueda donar el agua restante a los demás contenedores, esto agiliza tanto el mantenimiento como el riego de los mismos.

Al contar con agua almacenada se logra una barrera anti raíz, los anti raíces pueden ser naturales o artificiales, las raíces buscan agua para su crecimiento, en este caso se optó por brindarle el agua necesaria para que la raíz no migre provocando daños en la estructura, el contenedor cuenta también con una charola drenante, la que permite dividir en 2 el contenedor, manteniendo separado el sustrato del captador de agua, y a su vez instalarle la capa filtrante antes de colocar el sustrato.

La charola drenante gracias a la forma cónica del contenedor llega a un punto en el que no se le permite bajar más, embonando en el contenedor y reduciendo con esto el empleo de plástico para su conformación y detención.

Únicamente esta retirado del suelo 3cms para dejar fluir el agua que salga del rebosadero de los contenedores verdes.

3.5.5. Especificaciones Técnicas.

Tabla 4.- especificaciones técnicas del prototipo contenedor verde:

Medidas	
Largo base superior	50cms
Ancho base superior	35cms
Largo base inferior	25cms
Ancho base inferior	15cms
Alto	22cms
Piezas	Contenedor, Charola drenante, membrana filtrante, tira para absorción de agua.
Peso	8kg c/u saturado de agua. (48kg/m ²)
1m²	6 Contenedores
Vegetación	Suculentas y Crasuláceas, plantas nativas.

Figura 11: Dimensiones de prototipo contenedor.

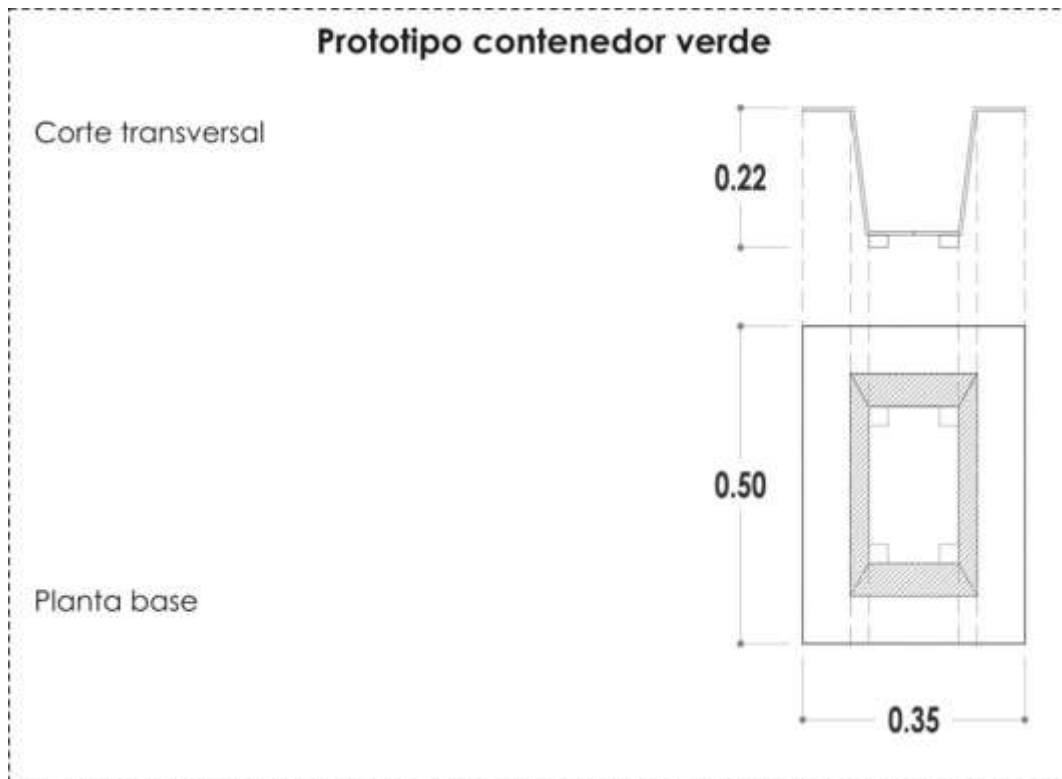


Figura 12: Dimensiones sustrato, captador y bases

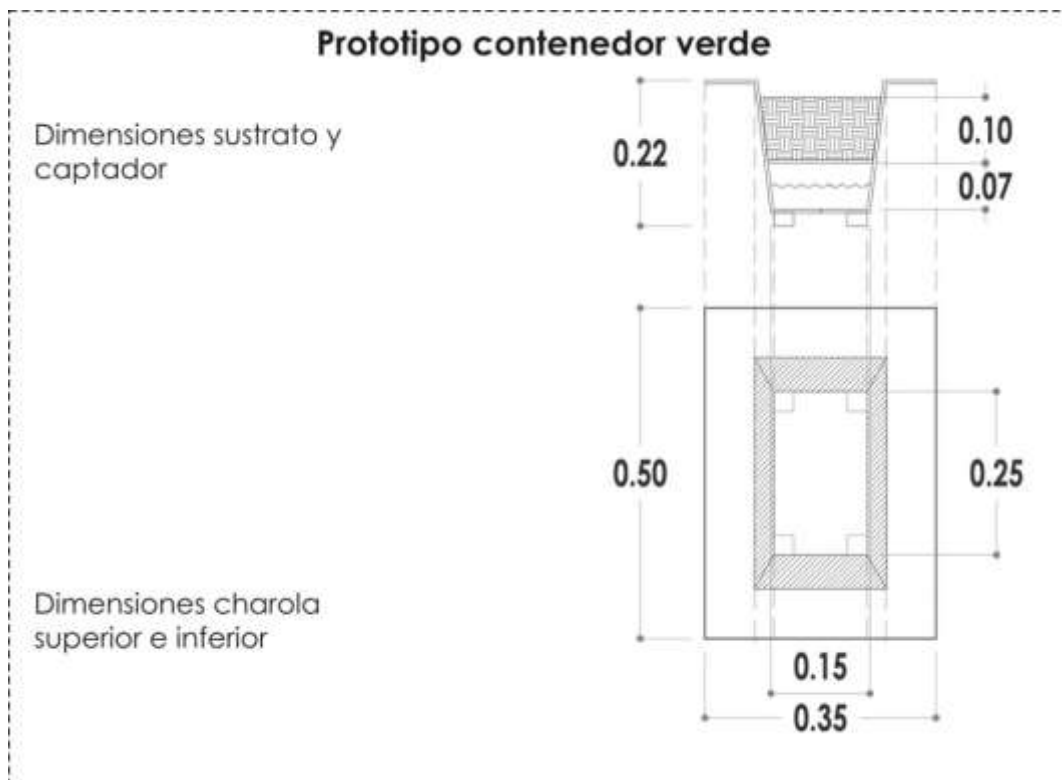


Figura 13: Volumen de sustrato y peso

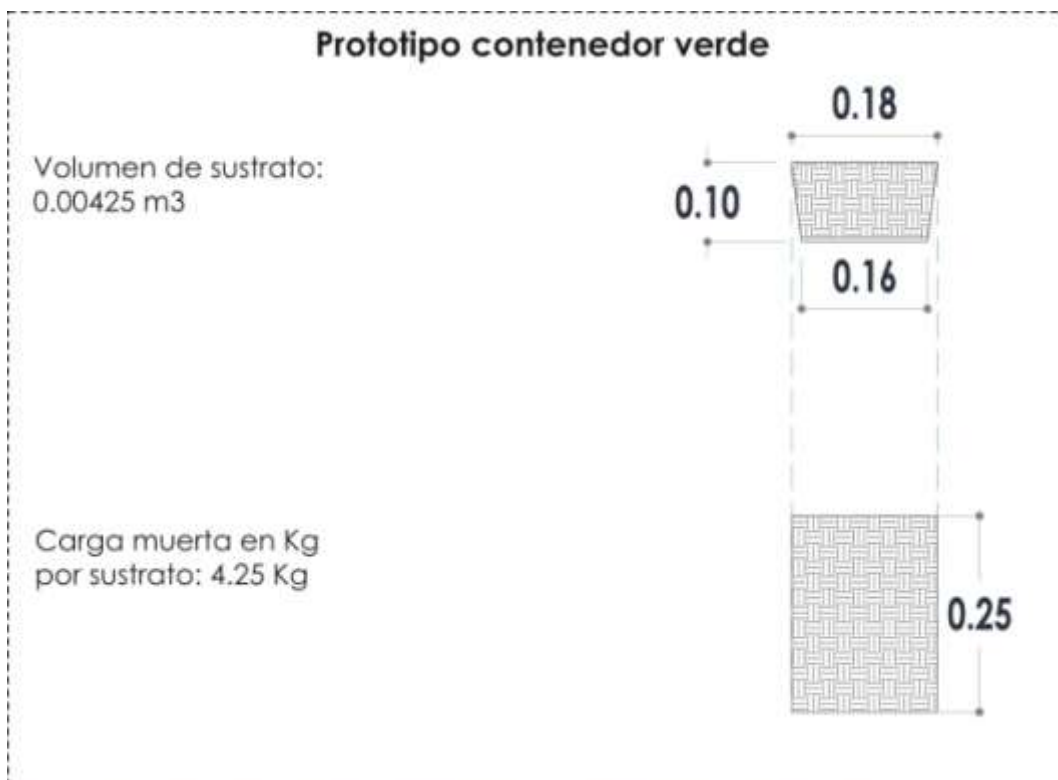


Figura 14: Volumen captador pluvial y peso en saturación.

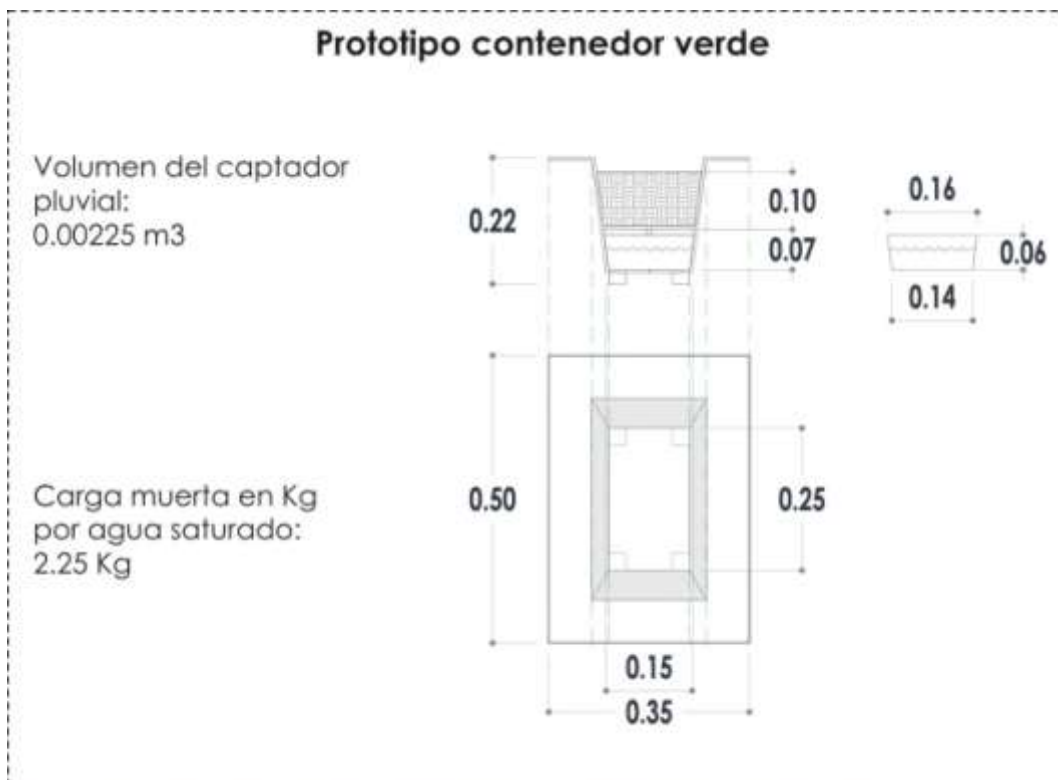


Figura 15: Volumen total de prototipo y peso en saturación.

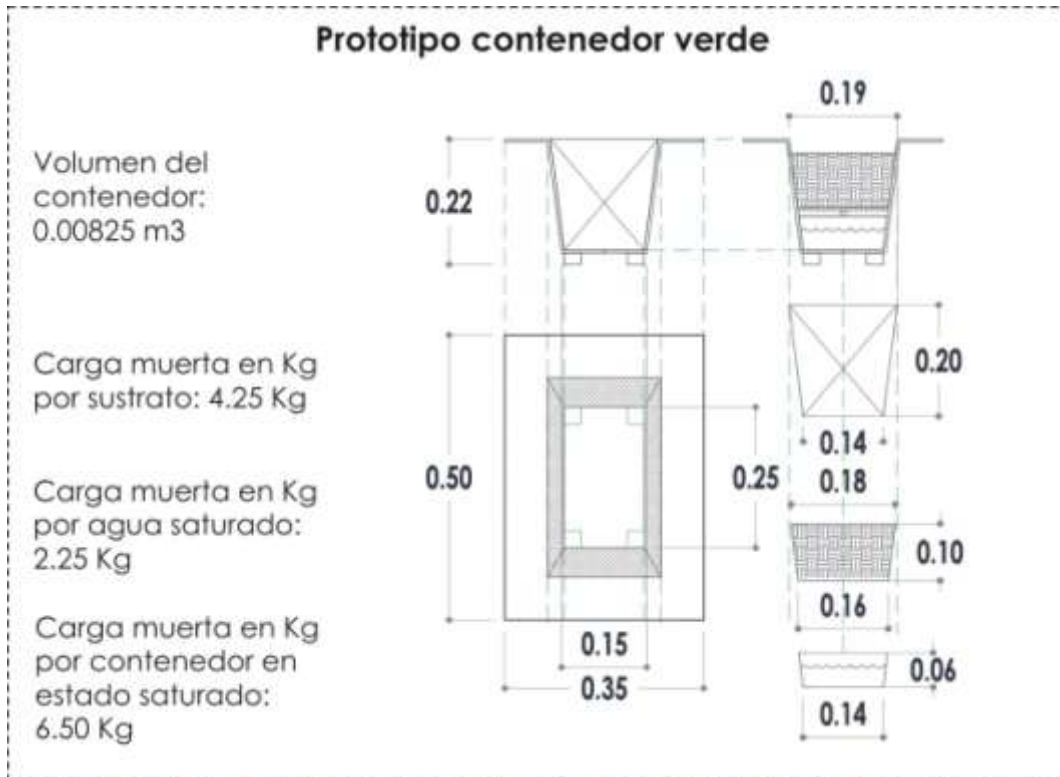
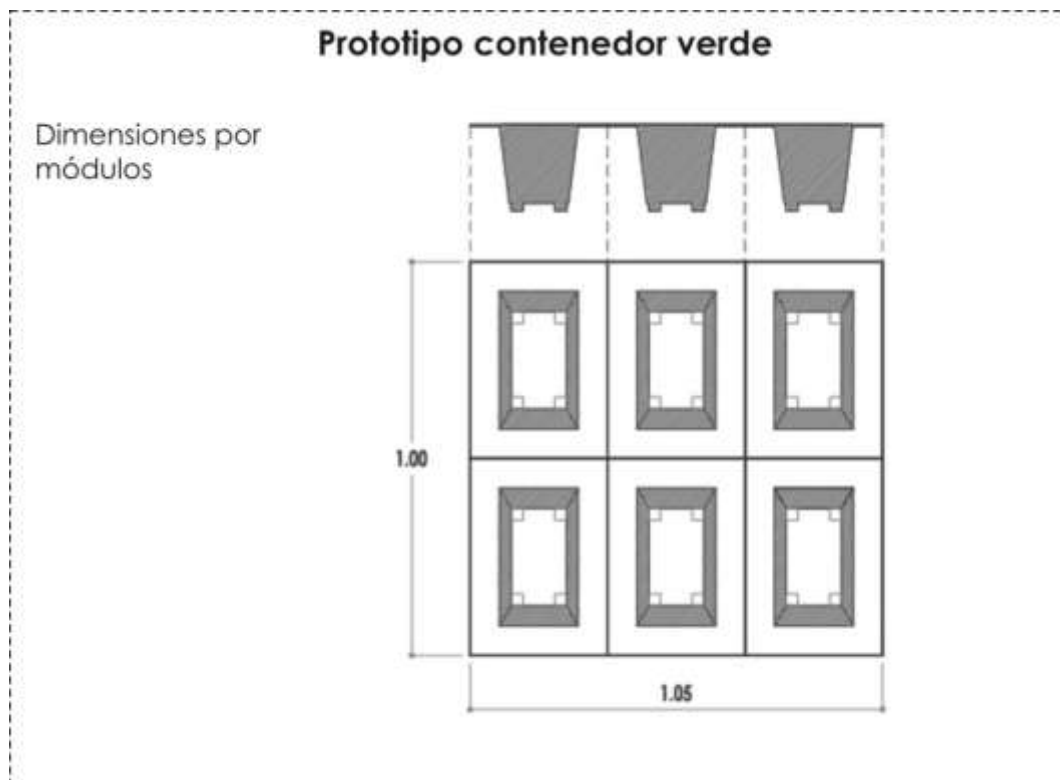


Figura 16: Dimensiones por módulo de prototipo.



Capítulo 04- Evaluación y resultados

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Evaluación y resultados.

A continuación se presenta el proceso de evaluación, el ejercicio experimental y la interpretación de los resultados obtenidos en la presente investigación, analizando los fenómenos que se presentaron y los beneficios que la estrategia pasiva de sistema de naturación modular podría brindar al ambiente.

El tamaño de las células fue condicionante para agregar una sombra alrededor de la célula con Sistema de Naturación Modular ya que al quedar partes expuestas por conducción estaba afectando directamente las mediciones al interior de la losa, que se presupone en un modulo a escala 1:1 por el tamaño de su superficie, no tendría tal incidencia.



Fotos (41-46): Colocación de Sombra alrededor de los contenedores para evitar incidencia térmica mediante conducción. Realizado in situ por el autor.

Otro de los factores que limitaron el desarrollo del experimento fue el error al descargar los datos del HOBO de la losa de concreto armado, ya que se eliminó la información, inicialmente el periodo representativo era del 08 de Junio al 13 de Junio del 2011, sin embargo debido a esta limitante se tuvo que acortar y continuar con las mediciones.

Además el canal externo únicamente midió la temperatura exterior durante un día debido a fallas en su programación que agotaron su memoria, motivo por el cual se tuvo que recurrir a mediciones de compañeros en ese periodo, logrando conseguir las del periodo representativo final para las comparaciones pertinentes.

4.1. Definición de Células de Evaluación.

4.1.1. Condicionantes y limitantes.

Es relevante mencionar como se llegó a la definición del tamaño y forma de las células experimentales de evaluación, con base en las limitantes de recursos y espacio se diseñó el prototipo de célula de evaluación, la cual debía albergar como componente principal una cubierta monolítica de concreto armado de 10 cms. de espesor, comúnmente utilizada en la zona.

Además, para poder realizar el proceso experimental, era fundamental contar con una célula testigo, la cual nos brindaría la información necesaria para realizar la comparación de las temperaturas obtenidas de cada una de las células.

Para que la comparación fuera imparcial, las células debían estar exactamente en las mismas condiciones, tanto de forma como en el entorno, y así evitar las posibles variables que pudieran alterar el comportamiento térmico de las mismas.

4.1.2. Medidas.

Las medidas definidas para las células de evaluación fueron las siguientes:

Tabla 5: Medidas células de evaluación para proceso experimental.

Elementos	Medidas (largo x alto x ancho)
Cubierta de concreto armado (monolítica)	1mx1mx1m
Muros perimetrales	1mx1mx1m

La selección de dichas medidas se fundamentó como se menciona en el apartado anterior en las limitantes de recursos, las ventajas que se analizaron al definir las células de evaluación de este tamaño fueron amplias y convenientes para la realización del experimento siendo viables en el análisis costo beneficio.

Una célula de evaluación de 1m³ no requiere de grandes cantidades de material lo que la hace económica, además responde de manera adecuada para el tipo de experimento que se realizó.

Como no es de gran tamaño puede ser fabricada por una persona, lo que disminuye el precio en la mano de obra, así mismo el tiempo de fabricación es menor, pueden ser construidas y albergadas prácticamente en cualquier lugar abierto disponible y son fáciles de maniobrar para su construcción y posterior destrucción y traslado.

Por otra parte al contar con una cubierta de 1m², hace favorable el tamaño para probar exactamente cómo funciona 1m² de sistema modular de cubierta naturada. Lo que nos hizo fabricar únicamente contenedores para cubrir 1m² de superficie, haciendo nuevamente más económico el proceso de experimentación, obteniendo los mismos beneficios y resultados.

4.1.3. Materiales.

Siempre teniendo en cuenta las limitantes de recursos y tiempo se definieron los materiales a utilizar en las células de evaluación.

Tabla 6: selección de materiales para células de evaluación.

Elementos	Materiales
Estructura	Ángulo de 2" formando una estructura en forma de cubo.
	Varilla #3 perimetral al pie de la estructura, soldada para evitar que se abran las patas por el peso del concreto.
	En la parte superior se soldó malla electrosoldada 6/6-10/10, para brindarle el acero necesario a la losa de concreto (resistencia a la tensión).
Cubierta	Concreto de f'c 250 kg/cm ²
	cemento
	agua
	grava
	arena
	Proporción para concreto de f'c 250 kg/cm ² en botes de 19lts. 1:1.5:3.5:4.5 cemento, agua,

	arena y grava respectivamente. Fuente: Cemex
Muros perimetrales	Placas de unicel de 1m ² para brindar aislamiento térmico a las paredes de la célula y únicamente medir la cubierta.
	Cinta canela para mantener las placas en su lugar.

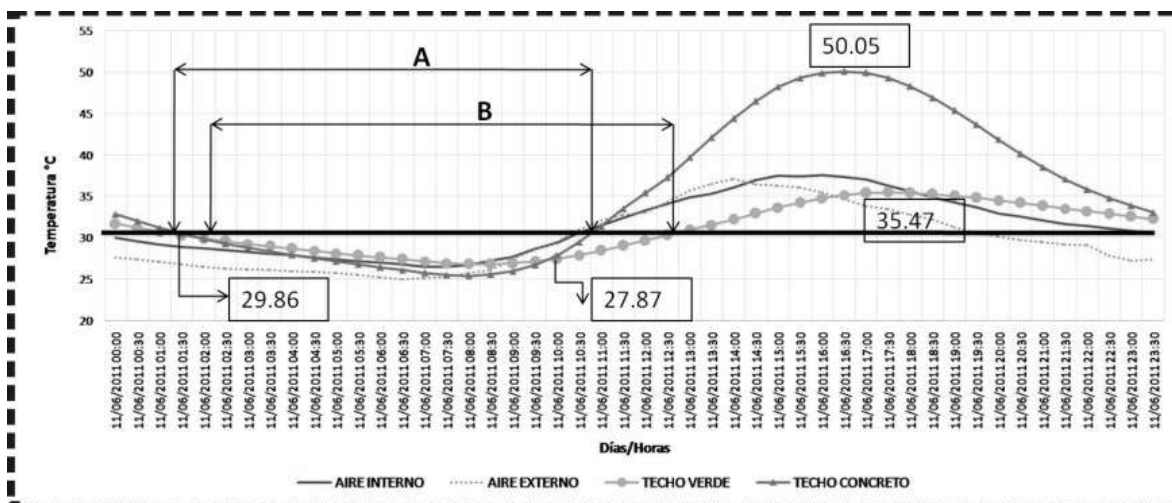
Nota: El proceso constructivo de las células de evaluación se encuentra descrito en la metodología de la presente investigación.

4.2. Evaluación de células.

En el experimento se obtuvieron los registros térmicos que se muestran en la grafica 1, realizados durante el día 11 de Junio de 2011 definido como día típico experimental (Vecchia 1997), se expone la comparación del comportamiento térmico de los 2 sistemas de techo: Cubierta de concreto armado y Sistema modular de naturación.

Debido al tamaño de los módulos de concreto experimentales con dimensiones de 1mx1mx1m, al momento de colocar los contenedores quedaban espacios sin cubrir en su totalidad, a los 3 días de la primera medición se llegó a la conclusión en base a la revisión de los resultados que por el tamaño la ganancia térmica que tenía el modulo con Sistema de Naturación Modular estaba siendo afectada por el fenómeno de la conducción, lo que reflejaba mayores temperaturas al interior, siendo factor el tamaño experimental ya que en una superficie de losa tipo, esta ganancia no reflejaría los mismos resultados por el factor de mayor superficie; como consecuencia se optó por sombrear dichas zonas y continuar la medición para poder obtener los resultados más cercanos a la realidad de la tecnología.

Se tomó como límite máximo aceptable a los 30°C, temperatura por debajo 1°C de la temperatura superficial de la piel, (ZOCOLAY) esto como consecuencia de los indicadores que afirman que cuando el techo pasa de esa temperatura, puede estar aportando calor a los usuarios del inmueble, y por consecuencia efectos negativos en su salud a causa del Estrés Térmico.



Gráfica 1 Gráfica comparativa de las temperaturas superficiales interiores de los 2 sistemas de techo, el día típico experimental, 11 de Junio de 2011.

Los 2 sistemas de techo presentaron temperaturas iguales en 2 momentos, a la 1:00hrs., 29.86°C, y a las 10:00hrs., 27.87°C. El primer momento a analizar se da cuando la temperatura superficial del techo de concreto descendió, quedando por debajo de la temperatura superficial del Sistema de Naturación Modular hasta por 1°C durante las 7:30 hrs próximas, siendo hasta las 9:30 horas cuando la losa de concreto armado se calentó e igualó la temperatura del Sistema de Naturación Modular.

1. Las temperaturas superficiales de los dos sistemas de techo llegaron a los 30°C, con aproximadamente 1 hora de diferencia, siendo el techo de concreto armado el que se calentó más rápido, y se mantuvo durante 8 horas con temperaturas por debajo de los 30°C, por su parte el Sistema de Naturación Modular mantuvo durante 10 horas temperaturas por debajo de los 30°C, manifestándose así 2 horas de desfase entre los sistemas de techo como se observa en los indicativos A y B en la Grafica 1. Las temperaturas superficiales interiores alcanzadas por los dos sistemas de techo superan los 30°C durante 15 horas del ciclo comparado, con la diferencia de 1hora y media entre ellos, desde las 11:00am, hasta las 2:00am del siguiente día, para el caso de la losa de concreto, y de las 12:30pm hasta las 3:30am del siguiente día para el caso del Sistema de Naturación Modular, sin embargo las temperaturas son ampliamente diferenciadas, presentando el sistema de concreto temperaturas críticas mientras que el sistema de Naturación se mantiene sobre la constante de temperaturas promedio.
2. El Sistema de techo de concreto se aprecia captación de energía solar desde las 8:30hrs., y a las 10:00hrs. Para el Sistema de Naturación Modular.
3. En la misma comparación se aprecia que el Sistema de techo de concreto armado alcanza su máxima temperatura a las 16:30 horas con una temperatura de 50.05°C,

mientras que el Sistema de Naturación Modular alcanza su máxima temperatura una hora después 17:30 hrs. Con una temperatura máxima de 35.47°C , siendo así este último 15°C menos caliente que el techo de concreto armado y teniendo un retraso en la ganancia térmica de 1 hora entre ambos sistemas.

4. El Sistema de Naturación Modular presenta una curva constante y no pronunciada en su ganancia térmica manteniendo un promedio de temperaturas sin cambios bruscos en el interior; el sistema de concertó armado presenta una curva pronunciada drástica en su ganancia térmica.

Figura 17: Simulación de sombra generada por un módulo 12:00 p.m.

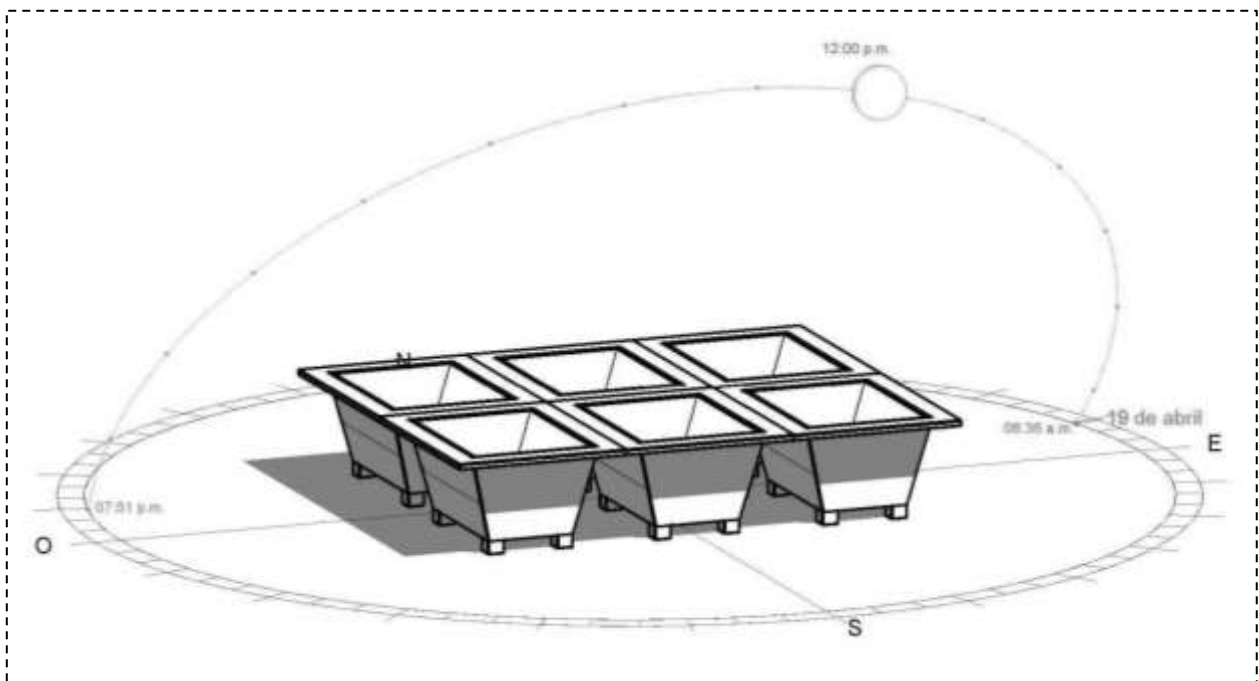


Figura 18: Simulación de sombra generada por un módulo 12:00 p.m.

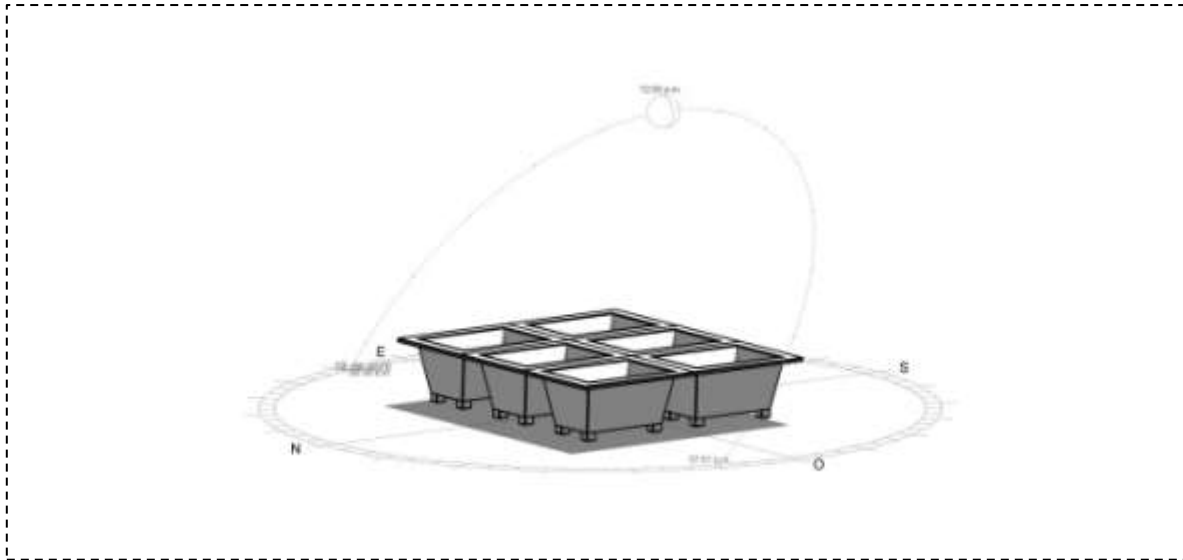


Figura 19: Simulación de sombra proyectada por el sistema modular de cubierta naturalada.

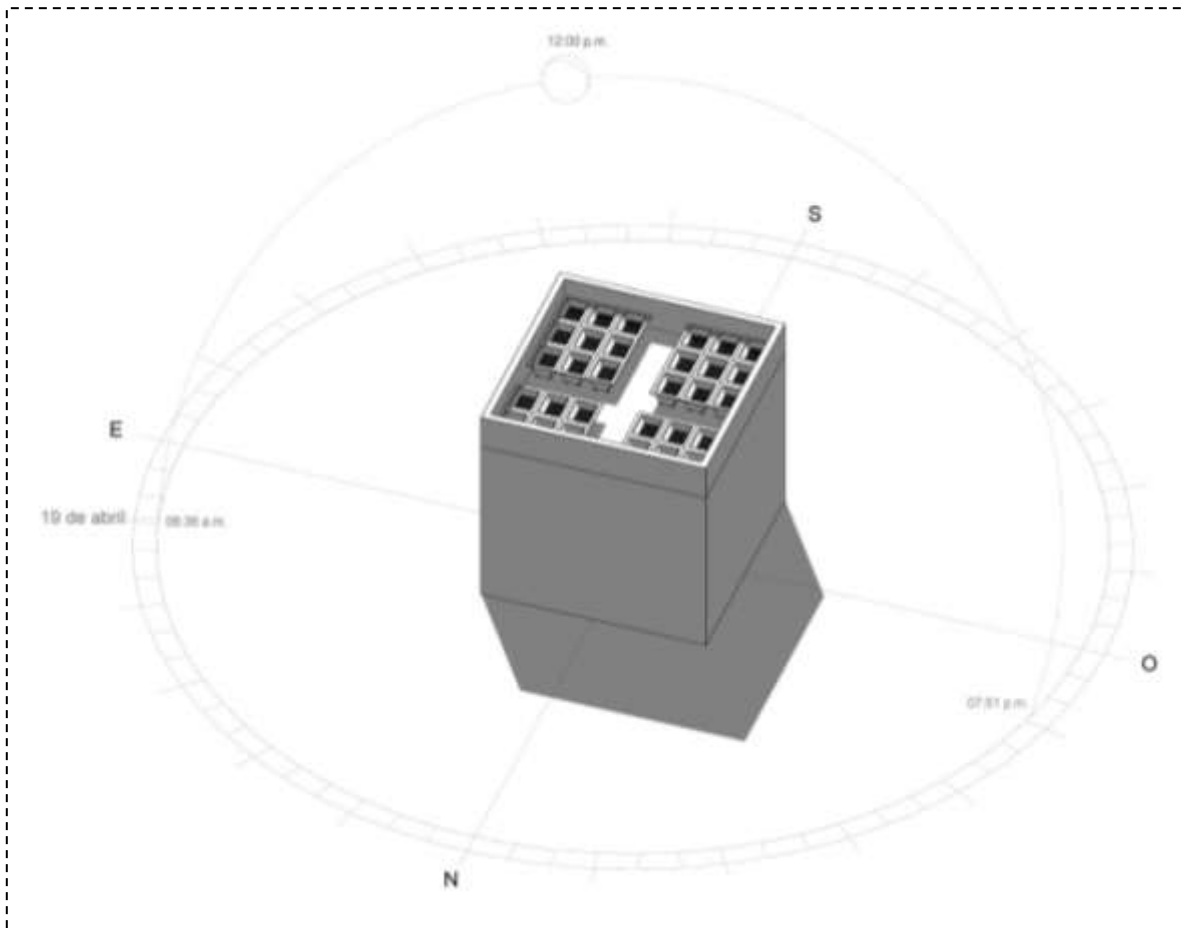


Figura 20: Corte en simulación sombra proyectada hacia cubierta.

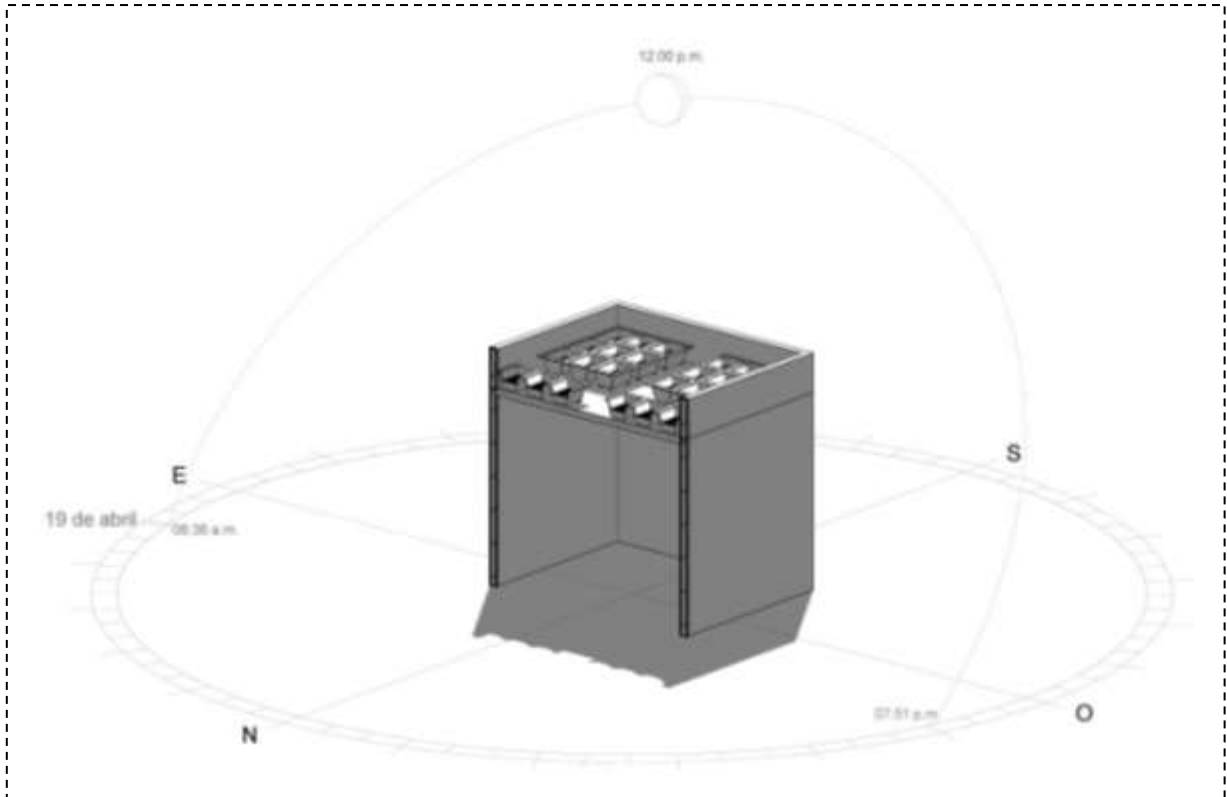


Figura 21: Zoom simulación en corte para visualización de sombra proyectada.

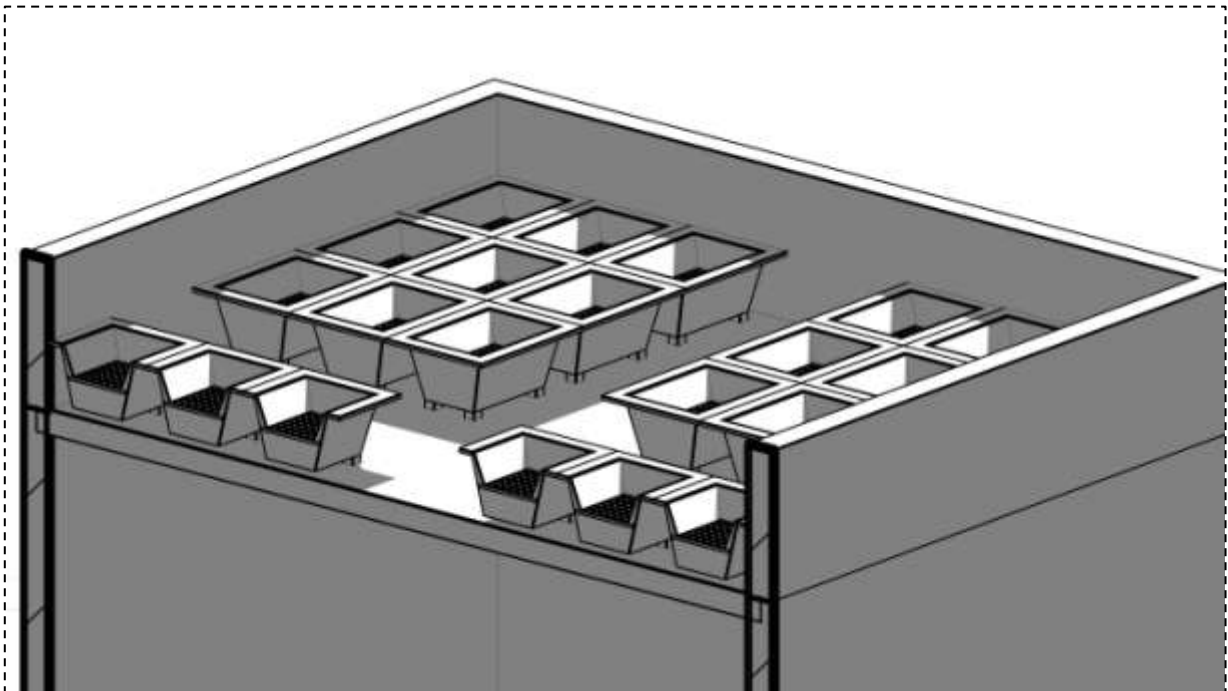


Figura 22: Simulación de sombra proyectada en corte.

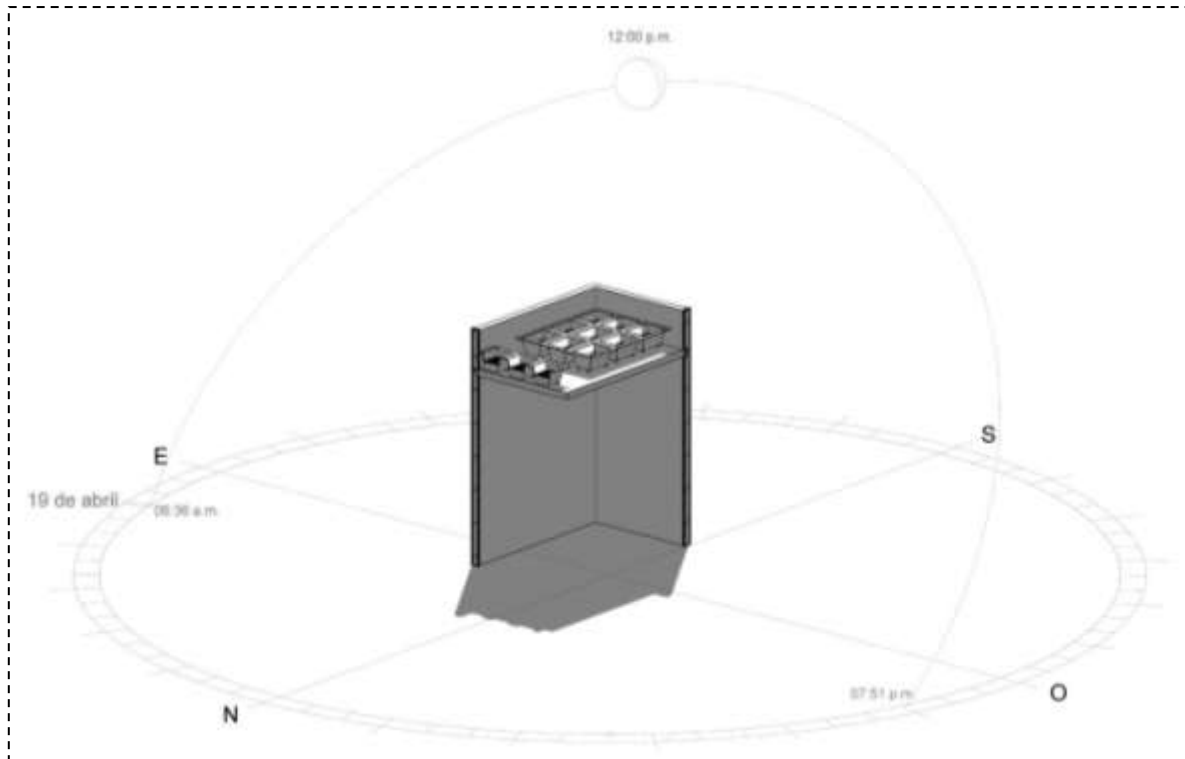


Figura 23: Simulación de sombra proyectada en corte 4:00 p.m.

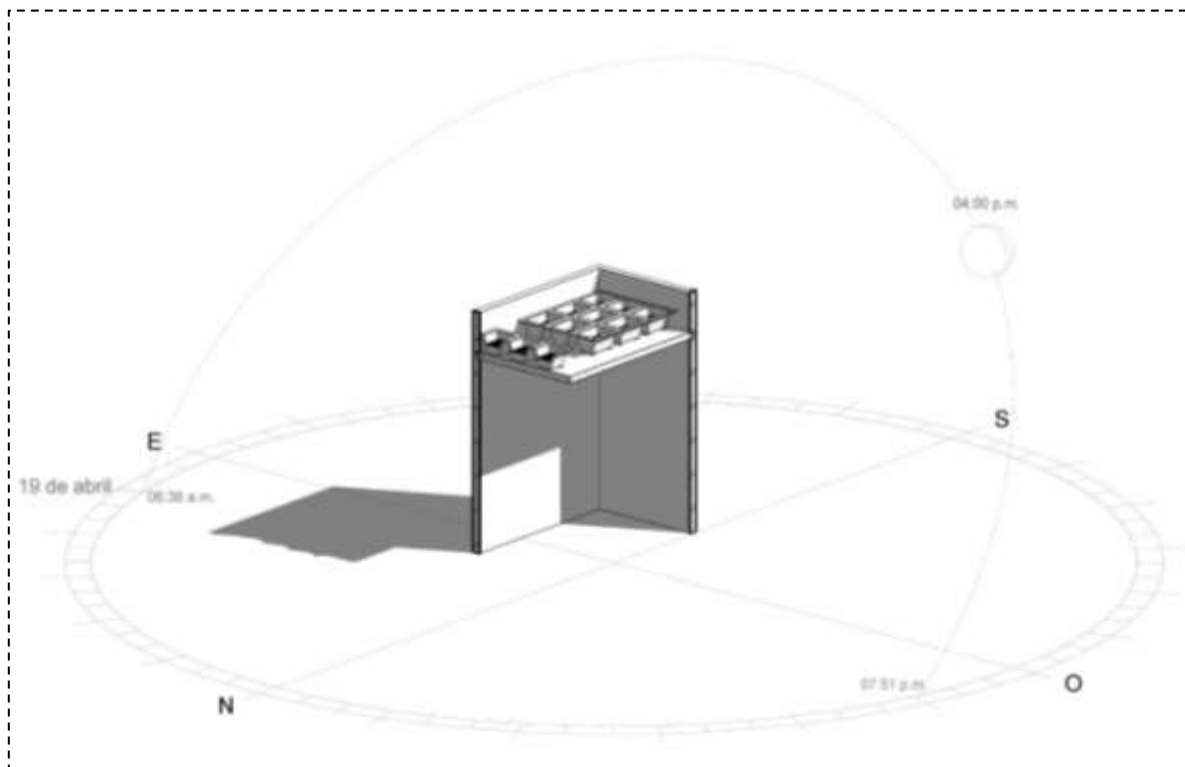
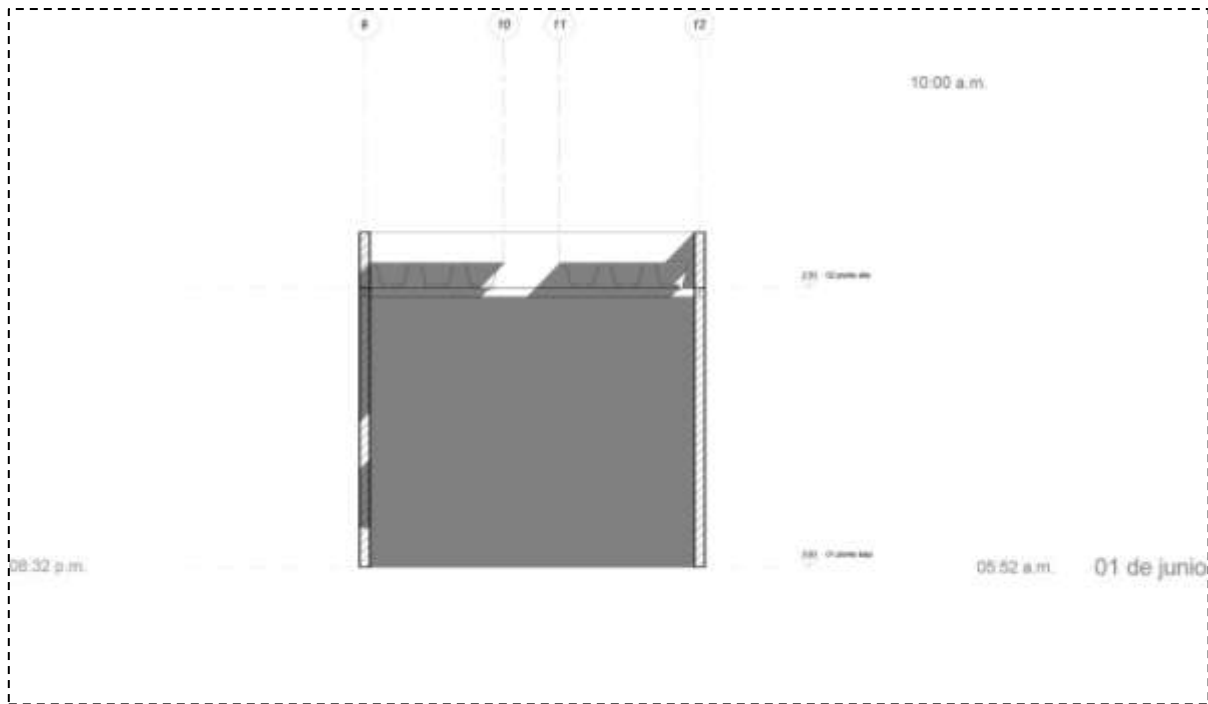


Figura 24: Corte transversal simulación sombra proyectada por módulos 10:00 a.m.



4.3. Interpretación de Resultados.

En los resultados se observaron 2 variables de mayor importancia para el experimento a favor del Sistema de Naturación Modular:

El retraso térmico de 1 hora y el amortiguamiento de temperatura de 15°C.

Una de las limitantes que presentó el experimento fue el tamaño de los módulos ya que por medio de la conducción influía directamente a la temperatura de la losa, por consecuencia los datos podrían variar al realizar el experimento en escala 1:1.

Además se pudo combinar 2 tipos de estrategias la de amortiguamiento térmico y la de sombreado ya que la forma del elemento permitió generar un beneficio al sombrear y quitarle carga muerta a la estructura, logrando una optimización en su aplicación, generando un beneficio extra en comparación con los sistemas de Naturación comúnmente utilizados, ya que se compensa al tener una ganancia un poco mayor pero al poder ser aplicable a todo tipo de construcción y aun así generar beneficios ya que su aplicación podría ser masiva.

4.3.1.- Descripción de los fenómenos ocurridos:

En el proceso experimental de evaluación de la propuesta, de sistema de naturación modular, se presentaron diversos fenómenos, que son relevantes para explicar la forma en que se logró la mejora en el comportamiento térmico de la cubierta de concreto armado.

A continuación, se describirán cada uno de dichos fenómenos:

Amortiguamiento:

Para el caso del amortiguamiento térmico de 15°C presentado por el Sistema de Naturación Modular, también está relacionado con los materiales componentes utilizados pues cada material tiene una capacidad diferente de almacenamiento de calor (calor Específico).

Retraso térmico:

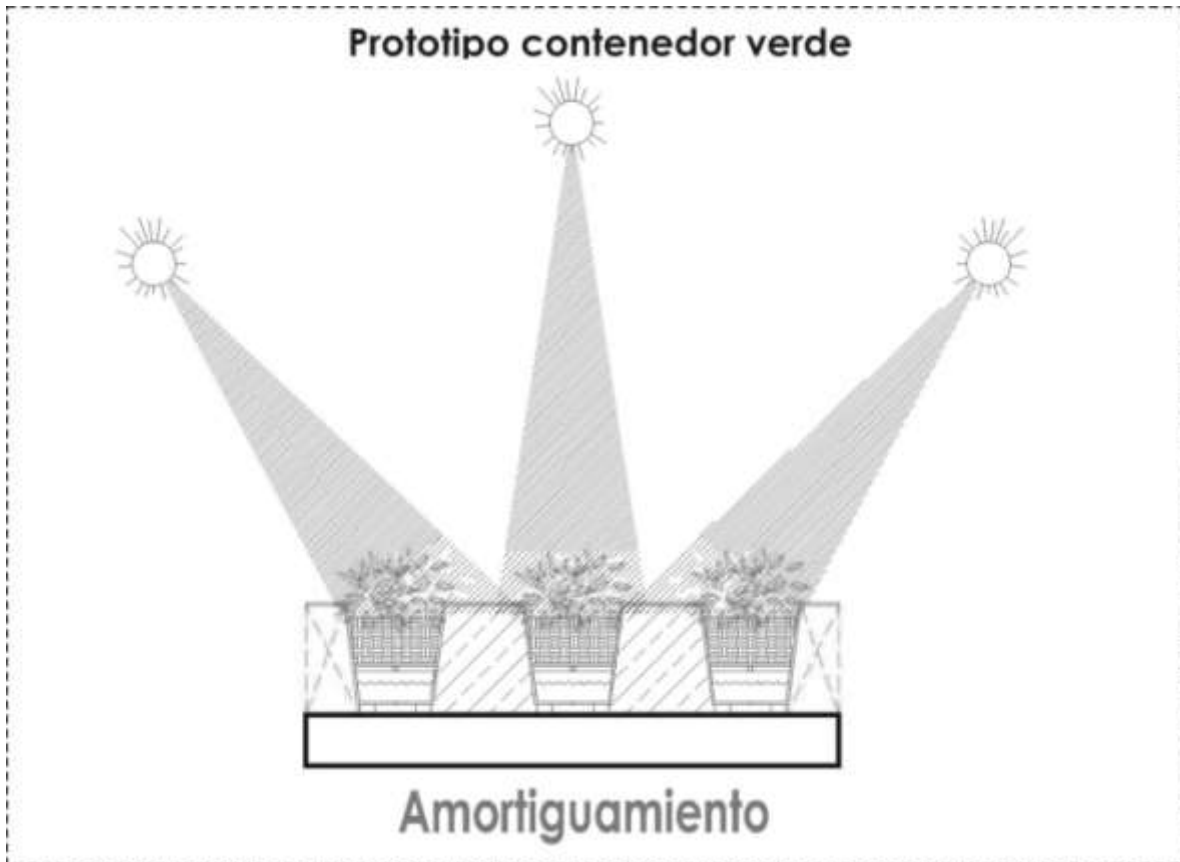
El retraso térmico logrado por el Sistema de Naturación Modular, se atribuye a su configuración y materiales, al tener una capa de sustrato de 8cms se agrega masa térmica, además debido a su forma cónica genera una mezcla de dos efectos térmicos porque además de la masa térmica agregada su forma genera el efecto de sombreamiento; es importante recalcar que el peso adicional que manifestó el Sistema de Naturación Modular fue de 50kg/m² la mitad de la carga que genera una cubierta naturada extensiva, haciendo de este un sistema adaptable a cualquier tipo de techo de concreto aplicable a las viviendas de interés social las cuales son por tamaño y configuración las más afectadas por los efectos negativos de la temperatura al interior de la vivienda.

Inercia térmica:

El sustrato por su parte toma un papel fundamental en el amortiguamiento de energía, ya que por sus características físicas logra captar la energía radiante, disipándola lentamente a lo largo del día.

Otro elemento que brinda una inercia térmica favorable es el agua, justo debajo del sustrato el contenedor cuenta con un captador de agua, almacenándola para abastecer a la planta cuando esta requiera de la misma, y aumentando el amortiguamiento de la radiación debido a las mismas características de inercia térmica.

Figura 25: Representación gráfica del fenómeno “amortiguamiento” en módulos.



Sombreamiento, carga muerta eliminada y flujo constante de aire:

El fenómeno de sombreadamiento, surge como resultado de la forma y colocación de los módulos contenedores, esto a su vez, genera beneficios relevantes, ya que, aunque el sombreadamiento no amortigua la radiación tanto como el sustrato, reduce el volumen de la carga muerta a la cubierta, haciendo el prototipo viable para su instalación en todo tipo de cubiertas.

Por otro lado, se presenta otro fenómeno que aumenta las ventajas en el sistema, ya que al formar un túnel debido a su forma y colocación, se está creando un flujo de aire constante, que al momento de pasar la radiación, logra que dicha cámara de aire se caliente, lo que provoca que esté en constante movimiento, lo cual imposibilita la transmisión por radiación a la cubierta.

Figura 26: Representación gráfica del fenómeno “carga muerta” en módulos.

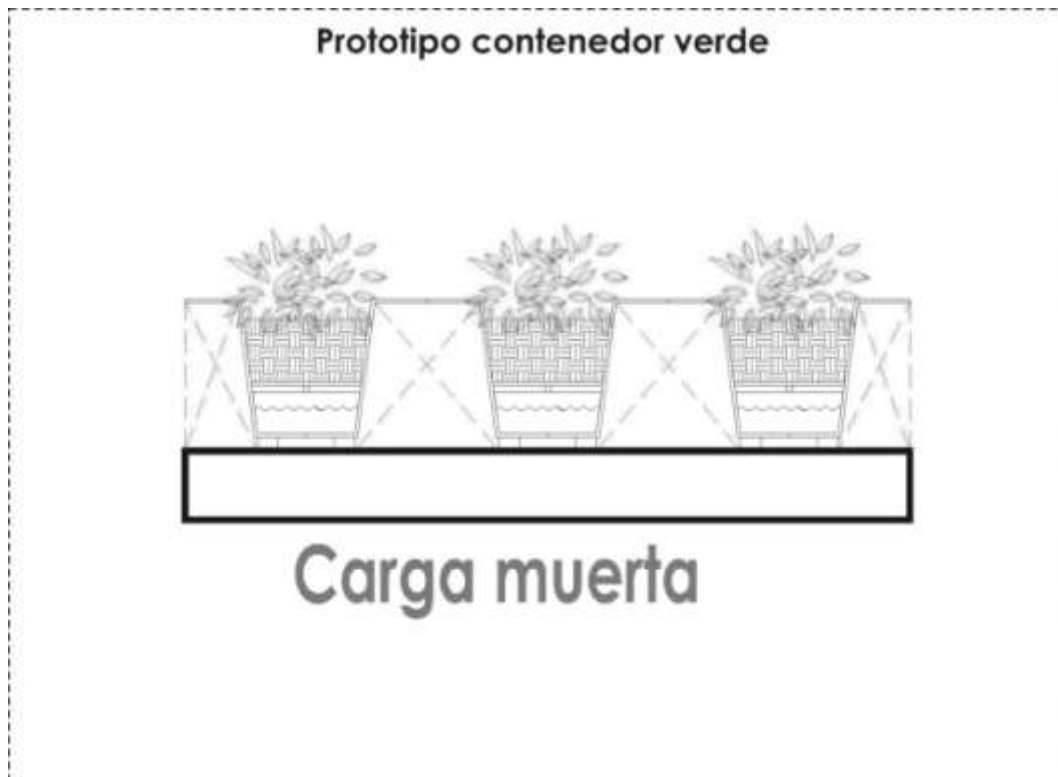
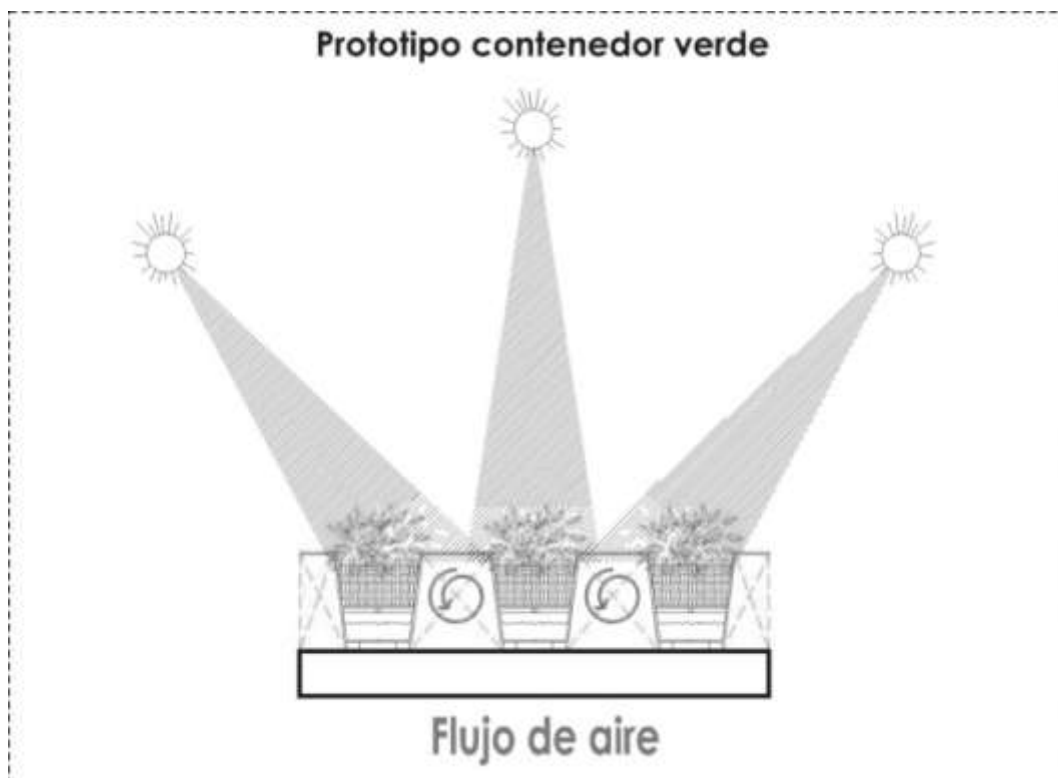


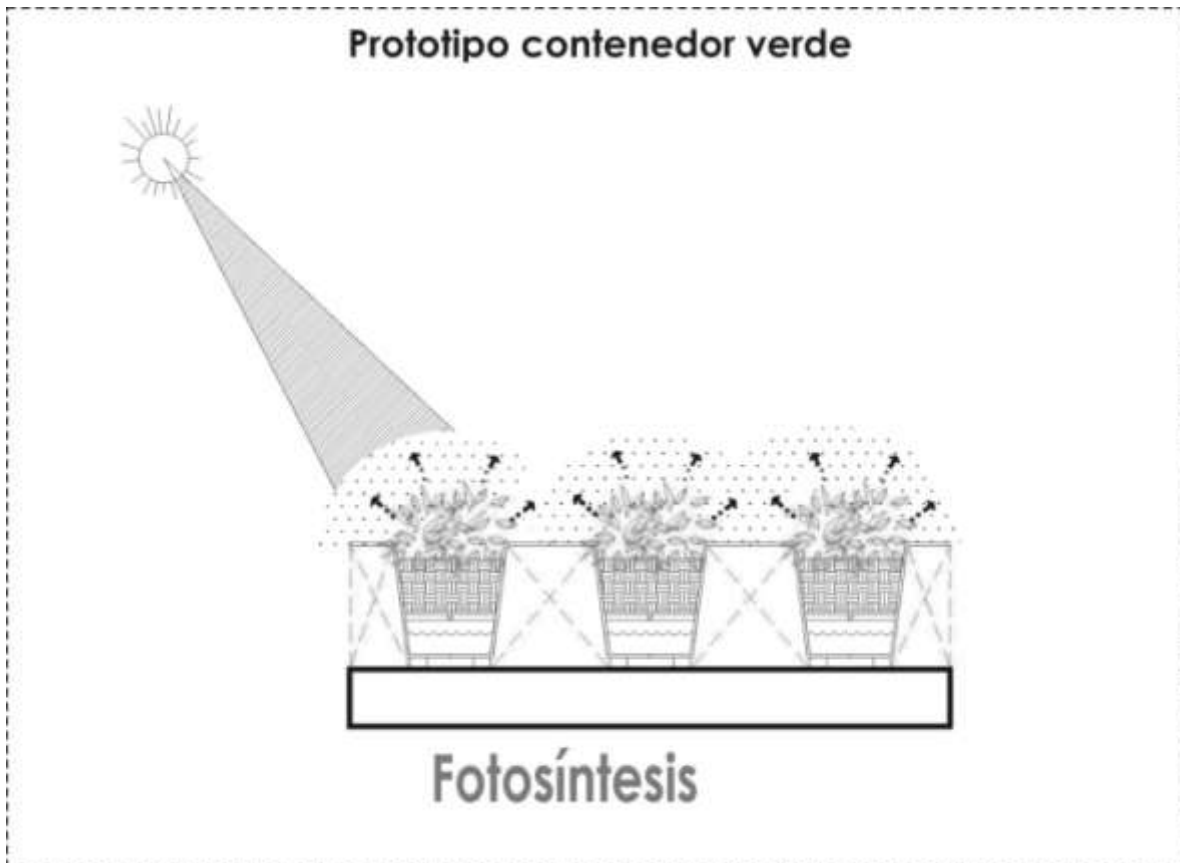
Figura 27: Representación gráfica del fenómeno “flujo de aire” en módulos.



Control de la radiación y fotosíntesis:

Con este fenómeno nos referimos a la transformación de energía que logramos al momento de incluir vegetación en el modulo, ya que se está logrando transformar la energía mediante la fotosíntesis de las plantas, y no únicamente captarla y disiparla, lo que beneficia aún más dicho amortiguamiento.

Figura 28: Representación gráfica del fenómeno “fotosíntesis” en módulos.



Conclusiones y recomendaciones

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones:

Con base en la investigación realizada y en el trabajo desarrollado se pueden expresar las siguientes conclusiones que se presentan en orden de prioridad de acuerdo al capitulado general.

Los cuatro bloques importantes fueron: la metodología, ya que es el proceso a seguir durante toda la investigación; la etapa de diseño en la cual se obtuvo el producto que en este caso fue el prototipo de contenedor verde; la etapa experimental en la cual se evaluó el prototipo, y finalmente, la etapa de resultados en donde se concluye con base a los datos obtenidos como consecuencia de la evaluación.

Habiendo tenido la experiencia completa, se puede concluir acerca de cada una de las etapas mencionadas, como a continuación se presenta:

1.-Metodología:

Este modelo metodológico presentado por Castañeda (2010), representa una alternativa más al momento de realizar un proceso de investigación.

de igual forma, va llevando de la mano cada uno de sus pasos, es un proceso sencillo con causas y efectos, que no puede ser modificado y que realmente respeta la chispa creativa del autor.

Además, explica exactamente de donde se extrae la información y el por qué se obtuvo de tal manera.

Una de las partes relevantes es la obtención de los objetivos de investigación, ya que explota de manera clara su generación, para el caso específico de esta investigación, se generó un objetivo particular el cual buscaba la creación y diseño de un módulo "*contenedor verde*" como alternativa de estrategia pasiva para el mejoramiento al comportamiento térmico de la cubierta de concreto armado.

Al manejar una lógica entre la situación que debe modificarse y la situación que sería la ideal, limitada siempre por las condicionantes del contexto tanto físicas, como sociales y económicas, nos fue posible generar dicho objetivo al confrontar las situaciones mencionadas anteriormente.

Todo esto nos deja clara la manera en la que se obtiene el objetivo o los objetivos de investigación, el ¿Por qué? De cada uno de ellos, con indicadores claros y fundamentados.

Las características expuestas hacen valiosa la metodología, pues es común que no se explique de donde se obtienen los objetivos, sino que es un apartado más que hay que definir, sin explicación alguna, como si fuese simple inspiración del autor.

A lo largo de la investigación, la metodología también va planteando la necesidad de métodos particulares de apoyo durante el proceso, los cuales hacen digerible el método de investigación, ya que, al tener pasos definidos, es cuestión de únicamente seguirlos y obtener la información precisa para continuar con la siguiente etapa.

Lo anterior, permite que las distintas etapas de la investigación vayan directamente ligadas y estén interrelacionadas entre sí, teniendo una secuencia lógica y una razón de ser de cada una de ellas.

Consiste en una metodología práctica, concisa y precisa; no divaga, es un método claro, y hace que el investigador no pierda el objetivo del proceso de investigación.

Para el caso de esta investigación, se trabajó apoyándonos en el artículo de Castañeda (2010), Adaptación tecnológica para techos: Sistema Domotej; en el cual se explica dicha metodología, sin embargo se tuvo que profundizar para poder adaptar la metodología a la investigación, por el inexistente estado del arte de la misma.

Por lo tanto, la presente investigación se pudo desarrollar sin ningún problema con la metodología elegida, obteniendo una experiencia grata al momento de desarrollarla debido a la claridad que maneja, siendo recomendable para investigaciones futuras.

2.-Método de diseño:

En cuanto al proceso de diseño, se concluye que fue un proceso práctico, sencillo, que además, fue guiado siempre por la metodología, lo cual hizo aun más preciso el proceso.

Es altamente explícito, va paso a paso y maneja de manera clara todas las alternativas que se obtuvieron y el por qué de la elección de una en especial.

Además, se trata de un proceso de adaptación tecnológica, con lo cual se obtuvo un modelo de utilidad de un contenedor verde, el cual puede ser registrado en el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) como tal en otra etapa del proyecto.

3.-Proceso experimental:

Las conclusiones en el proceso experimental, son básicamente para resaltar la importancia de la verificación de los equipos, ya que esto puede generar limitantes importantes, además de alargar el tiempo programado para esta etapa.

Así mismo, fue un proceso sumamente creativo, desde la generación y definición de las células experimentales hasta la interpretación de los fenómenos causados por el tamaño de las células, a las cuales se les tuvo que agregar una sombra perimetral.

Es importante poner énfasis en esta etapa en toda investigación, ya que de esta depende la obtención de resultados confiables y condiciona el tiempo del desarrollo de la misma.

4.-Resultados:

- La cubierta de la vivienda del contexto con la tecnología típica de concreto armado en Tuxtla Gutiérrez, contribuye de manera significativa a la ganancia térmica que tiene el interior de la vivienda, principalmente por medio de calor radiante, debido a las características termo físicas de los materiales que lo componen, además de su volumen y las altas temperaturas que presenta el contexto analizado.
- La contribución térmica de un Sistema de Naturación Modular (SNM), a la temperatura interior de la vivienda en Tuxtla Gutiérrez, es mucho menor que el que ofrece un sistema de cubierta de concreto armado, por la composición de sus materiales y las características en cuanto a volumen y propiedades físicas de los mismos.
- El amortiguamiento y el retraso térmico que presenta el Sistema de Naturación Modular es significativo para la vivienda, siendo conveniente por reducir su incidencia en la temperatura interior de la misma, mejorando su confort térmico y como consecuencia generando un menor consumo energético, lo que confirma el logro de los objetivos inicialmente planteados.
- Es de suma importancia enfatizar que la propuesta de SNM, es una alternativa desarrollada considerando aspectos del contexto analizado, además de incluir en su desarrollo las mejoras que resultaron de la confrontación de los sistemas modulares existentes, haciendo factible su apropiación en el contexto y su reproducción.
- El SNM además de los beneficios mencionados brinda una carga adicional por debajo del 75% de una cubierta extensiva, generando beneficios térmicos muy favorables haciendo de esta tecnología adaptable a cualquier tipo de construcción, sin causar daños a su estructura, lo que no es posible con los otros sistemas.

Recomendaciones:

Toda investigación tiene como meta llegar a ser una puerta para estimular la generación de nuevas investigaciones a partir de ella, es por eso que a continuación se analiza el tema de estudio en forma de cuestionamientos para lograr incentivar el desarrollo de nuevos proyectos.

En el presente documento se propone el PET reciclado como una alternativa de material para la configuración del "contenedor verde" sin embargo, ¿Es el PET reciclado el material idóneo para el contenedor de acuerdo a sus características físicas, químicas y las condicionantes del contexto en el que se enmarca?.

La vegetación como se ha mencionado funge un papel importante para brindar beneficios al SNM por los fenómenos producidos como la fotosíntesis, ¿No sería importante profundizar en el tipo específico de especie vegetal óptima para el SNM en tipo de clima cálido-subhúmedo?.

¿El diseño del módulo "contenedor verde" es el adecuado y único para generar los fenómenos ocurridos? ¿Podría mejorarse el diseño y optimizar su desempeño y forma?.

¿Se podría modificar y adaptar el diseño para ser aplicable en losas inclinadas?.

Como se ha demostrado la investigación puede tener proyectos complementarios que son punto de partida para futuras investigaciones, además de ser proyectos multidisciplinarios, no únicamente enfocados a la arquitectura.

Lo anterior nos da un panorama de la amplia gama de proyectos que pueden surgir a manera de continuar generando conocimiento y a su vez creando ciencia.

Como conclusión general del presente documento, es importante tener en cuenta la siguiente filosofía:

"Si se quiere impactar de manera global sobre el ambiente es pertinente el uso de estrategias pasivas de manera pasiva de lo contrario únicamente se verán reflejados como esfuerzos aislados sin tener un efecto considerable sobre el calentamiento global".

Bibliografía

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Bibliografía:

- ACOSTA, D. (2003). Hacia una arquitectura y construcción sostenible. *En Antología: Desarrollo Sustentable, Castañeda Nolasco Gabriel (2009).*, 28-30.
- ÁLVAREZ GARCIA, G. (s.f.). EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN MÉXICO . *PERSPECTIVAS DE DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN MÉXICO.*
- AMBIENTE, S. D. (2007). NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-013-RNAT-2007. *NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-013-RNAT-2007.*
- AMENA. (2010). *ASOCIACIÓN MEXICANA DE NATURACION*. Recuperado el 24 de NOVIEMBRE de 2010, de AMENA: <http://www.amenamex.org/>
- ASIAIN, L. D. (1994).
- AULICIEMS, & SZOKOLAY. (1999). *Thermal comfort. PLEA Notes. Brisbane. Australia: PLEA: Passive and Low Energy Architecture. Department of Architecture. University of Queensland. AUSTRALIA.*
- BARRERA, F. A. (2003). DESARROLLO SUSTENTABLE. *Revista del Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República "Belisario Domínguez".*
- Baxter, M. (1998). *Projeto de produto, guia prático para desing de novos produtos, 2a. ed.* Sao Paulo: Edgard Blücher Ltda.
- BRAVO, Y. (2006). ARQUITECTURA SUSTENTABLE. *HABITAT.*
- BRITTO CORREA, C. (2001). *Análisis de la viabilidad y comportamiento energético de la cubierta plana ecológica.*
- BRUNDTLAND, C. (1987). *NUESTRO FUTURO COMUN.*
- CABELLO, F. A. (s.f.). LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE. *LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y EL MEDIO AMBIENTE.*

- CANNON B, W. (s.f.).
- CAPELLI, A. (2001). LA ISLA DE CALOR ESTIVAL EN TEMUCO, CHILE. *REDALYC*.
- CAPELLI, S. D. (2001). LA ISLA DE CALOR. *LA ISLA DE CALOR FESTIVAL EN TEMUCO*. CHILE.
- CARRASCO, S. (2010 йил 14-OCTUBRE). Tiene el DF 17 mil 500 metros de azoteas verdes. *Tiene el DF 17 mil 500 metros de azoteas verdes*.
- CASTAÑEDA NOLASCO, G. (2007). Sistema de Techo Alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- CASTAÑEDA, G. N. (2010). ADAPTACIÓN TECNOLÓGICA PARA TECHOS: SISTEMA DOMOTEJ.
- CASTAÑEDA, N. G. (2005). ADAPTACION TECNOLOGICA PARA TECHOS.
- CASTAÑEDA, N. G. (2007). Sistema de Techo Alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública, ". e. (s.f.).
- CESOP. (22 de febrero de 2006). *Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública*. Recuperado el 10 de NOVIEMBRE de 2010, de www.diputados.gob.mx/cesop/
- CHAVEZ, J. R. (2008). Evaluación de cubiertas verdes para confort térmico y ahorro de energía . *Evaluación de cubiertas verdes para confort térmico y ahorro de energía* .
- CONAVI. (2008). Programa Específico para el Desarrollo Habitacional. *Programa Específico para el Desarrollo Habitacional*.
- FERNANDEZ, F. G. (1994). CLIMA Y CONFORTABILIDAD HUMANA. ASPECTOS METODOLOGICOS. *SERIE GEOGRAFICA VOL 4*, 109-125.
- FERNANDEZ, J. M. (2007 йил 20-FEBRERO). ENERGIA, CAMBIO CLIMATICO Y EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. *EDIFICACION SUSTENTABLE: OPORTUNIDADES Y RETOS EN AMERICA DEL NORTE DESDE LA PERSPECTIVA MEXICANA*. MEXICO DF.
- FUENTES, F. V. (2004). *CLIMA Y ARQUITECTURA*. EDICIONES UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA DE AZCAPOTZALCO.
- GARCIA, C. (1996). Diseño Bioclimático para Ahorro de energia y confort ambiental integral. *Diseño Bioclimático para Ahorro de energia y confort ambiental integral*. MEXICO DF.

- INEGI. (2005). *CONTEO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA 2005*.
- LAROUSSE. (2011). *PEQUEÑO LAROUSSE ILUSTRADO*.
- LIVE, R. (2009). *LIVE ROOF*. Recuperado el 31 de MARZO de 2011, de LIVE ROOF:
<http://www.liveroof.com/>
- MARTINO. (2004). QUE ES Y COMO APLICAR LA ARQUITECTURA SUSTENTABLE.
- MONDELO. (1999). *ERGONOMÍA 2*.
- MORILLÓN, G. D. (2005). ATLAS BIOCLIMÁTICO DE LA REPÚBLICA MEXICANA.
- MORILLÓN, G. D. (2005). ATLAS BIOCLIMÁTICO DE LA REPÚBLICA MEXICANA.
- MORILLÓN, G. D. (2006). Impacto del cambio ambiental global en el sector residencial.
Impacto del cambio ambiental global en el sector residencial.
- MORILLON, G. D. (2007). Vulnerabilidad y Adaptación del Sector Vivienda ante el cambio climático. *Acciones, Programas y Proyectos para la vivienda de interes social en México*. México.
- NAREDO, J. M. (1996). SOBRE EL ORIGEN, EL USO Y EL CONTENIDO DEL TERMINO SOSTENIBLE. *HABITAT*.
- OCHOA, J. M. (1999). LA VEGETACIÓN COMO INSTRUMENTO PARA EL CONTROL CLIMÁTICO. *LA VEGETACIÓN COMO INSTRUMENTO PARA EL CONTROL CLIMÁTICO*.
- OLGYAY. (1963).
- OLGYAY, V. (1998). *ARQUITECTURA Y CLIMA*.
- OLGYAY, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. BARCELONA: GUSTAVO GILI.
- OMS. (2006). *ESTRATEGIA DE LA VIVIENDA SALUDABLE*.
- PLANELLO, J. (2005). *LOS BENEFICIOS DEL DESARROLLO SOSTENIBLE*. VINCULANDO.
- PNUMA, T. N. (2002). LA CRISIS AMBIENTAL. *LA INTEGRACION DEL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO 1972-2002*.
- RAMIREZ, J. F. (2009). ARQUITECTURA SOSTENIBLE. *La inercia térmica* del concreto como sistema pasivo de climatización artificial*.

- RICARD, A. (2000). *La Aventura Creativa: Las Raíces del Diseño*. BARCELONA, ESPAÑA: ARIEL.
- RIVERO, R. (1998). ARQUITECTURA Y CLIMA.
- RODRIGUEZ, H. (2004). EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMODINÁMICO DE CUBIERTAS. *INFORME FINAL- PARTE C- 2004*.
- ROOF, G. (2011). *GREEN ROOF SYSTEMS DE MEXICO S.A. DE C.V.* Recuperado el 31 de MARZO de 2011, de GREEN ROOF SYSTEMS DE MEXICO S.A. DE C.V.: <http://www.grsm.com.mx/>
- SEDESOL. (2009). ESTADO ACTUAL DE LA VIVIENDA EN MEXICO . *ESTADO ACTUAL DE LA VIVIENDA EN MEXICO* .
- SOLÍS, J. (2009). La vegetación como estrategia proyectual bioclimática en clima cálido – subhúmedo. *La vegetación como estrategia proyectual bioclimática en clima cálido – subhúmedo*.
- STRONG. (1999).
- TAREB. (2004). ENERGIA CONFORT Y ARQUITECTURA.
- TEJEDA, & RIVAS. (2003). , EL BIOCLIMA HUMANO EN URBES DEL SUR DE MÉXICO PARA CONDICIONES DE DUPLICACIÓN DE CO2 ATMOSFÉRICO. 37-52.
- URRIBARRI, G. (2002). *EL CONCEPTO DEL DESARROLLO SUSTENTABLE* .
- VECCHIA, F. (1997). CLIMA Y CONFORT HUMANO.
- VERDE, E. (2010). *EFFECTO VERDE*. Obtenido de EFECTO VERDE: <http://www.efectoverde.org/nuestroproductos.html>
- VICTORIA, R. (2005). SOBRE LAS CUBIERTAS VERDES O CUBIERTAS ECOLOGICAS.
- YEANG, K. (1999). *PROYECTAR CON LA NATURALEZA*. ESPAÑA: GUSTAVO GILI.

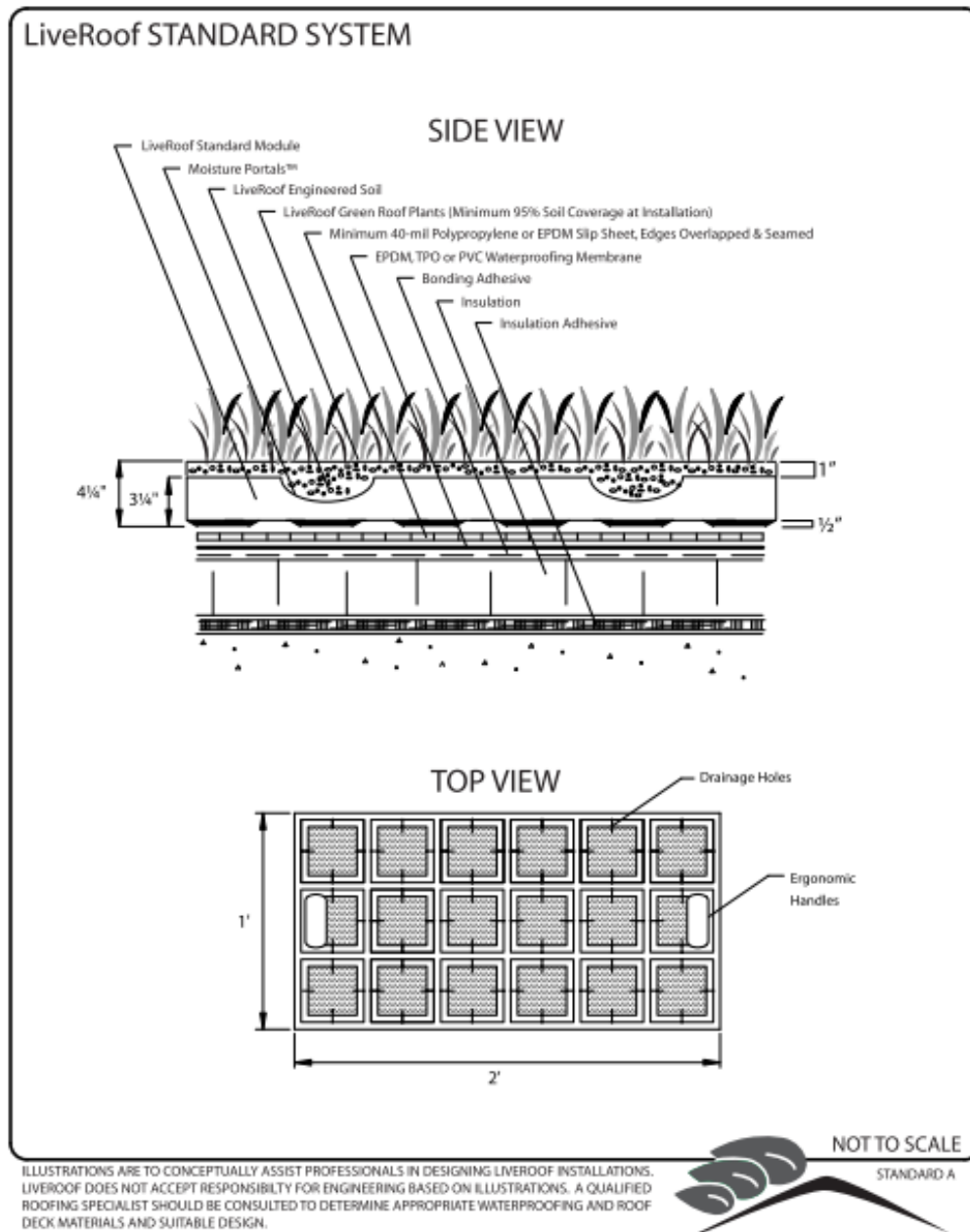
Anexos

UNACH
M.A.U

Sistema modular de cubierta naturada para losas de concreto armado en zonas con clima cálido-subhúmedo.

Anexos:

Anexo 1.- Ficha técnica sistema Liveroof:



LiveRoof, LLC
P.O. Box 533
Spring Lake, MI 49456

(800) 875-1392
www.liveroof.com

LiveRoof®

Anexo 2.- Ficha técnica sistema Ecoverde (efecto verde):



efecto verde

SISTEMA MODULAR PARA AZOTEAS EFECTO VERDE

Ficha Técnica: Hidromacetero

material: Polipropileno 100% reciclado

largo: 52 cm

ancho: 32 cm

altura: 33 cm

almacenamiento de agua: 6 litros

volumen máximo de sustrato: 20 litros

elevación: 14 cm

número de patas: 6

superficie de contacto: 4% (área de apoyo en patas)

peso hidromacetero: 1.7 kg

peso con plantas y sustrato: 11 kg (con plantas tipo sedum)

peso a saturación: 20 kg (sustrato mojado y reserva de agua llena)

protección UV: sí

vida útil: 10 años

metro cuadrado: 6 hidromaceteros





Características:

El sistema modular de Efecto Verde ha sido diseñado para losas de concreto con pendiente mínima de 2%, por su diseño no requiere de instalaciones o preparaciones especiales previas a su colocación.

Recomendaciones:

Se sugiere intervenir máximo el 60% de la superficie de la azotea, dejando el área restante para posteriores mantenimientos.

Colocar los hidromaceteros con 60 cm de separación de pretilos y muros.

Se recomienda dejar 52 cm de ancho para pasillos secundarios y 1.56 m en pasillos primarios.

Mover los hidromaceteros exclusivamente para mantenimiento.

Recargar el contenedor con cuidado para no fracturar las patas al momento de la colocación.

Capacidad de carga de losas:

La capacidad de carga de una losa de concreto común es de 250 kg/cm². El sistema modular puede ser colocado sin ningún problema en losas que se encuentren alrededor de este rango. Si la capacidad de carga es menor a la mencionada se recomienda disminuir el número de contenedores.

Precio unitario: \$140.00 (ciento cuarenta pesos 00/100)

(Contenedor exterior, contenedor interior, geotextil y cuerdas de reabsorción)

Precio no incluye IVA ni gastos de envío

Precio de contenedor vacío

Listado de tablas, cuadros, fotos y figuras:

	Pág.
Situación inicial:	
• V de Gowin- afectaciones negativas por efecto del uso de las cubiertas de concreto armado en clima cálido-subhúmedo.	10
• Mapa conceptual- causas y efectos del comportamiento térmico de la cubierta de concreto armado en clima cálido-subhúmedo.	10
Capítulo 01- Situación final	
• Tabla 1.- variables interrelacionadas en la adecuación ambiental.	16
• Tabla 2.- clasificación de cubiertas naturadas de acuerdo al tipo de vegetación.	23
• Fotos (1-6).- proceso de instalación de un sistema de naturación integral	24
• Fotos (7-12).- proceso de instalación de un sistema de naturación modular	25
• Figura 1.- hidromacetero efecto verde	26
• Tabla 3.- especificaciones técnicas hidromacetero efecto verde	27
• Figura 2.- comparativa de comportamiento térmico entre techo de concreto y techo verde domotej.	29
• Figura 3.- componentes de un sistema de naturación integral.	36
Capítulo 02- Metodología de la investigación	
• Figura 4.- esquema de diseño aplicado al desarrollo de la propuesta de adaptación.	46
• Figura 5.- equipo de registro térmico continuo de la familia HOBO.	49
• Fotos (13-18).- proceso constructivo de células de concreto armado.	50
• Fotos (19-24).- aislamiento y colocación de contenedores en células experimentales.	51
Capítulo 03- Diseño	
• Cuadro 1.- comparativa ecoverde ventajas y desventajas	56
• Cuadro 2.- comparativa liveroof ventajas y desventajas	57
• Cuadro 3.- comparativa sistema integral de naturación ventajas y desventajas	57
• Fotos (25-28).- forma experimental del prototipo contenedor verde	67
• Fotos (29-40).- proceso de elaboración de los contenedores verdes con sus componentes.	68
• Figura 6.- diseño de forma cónica y almacenamiento de contenedor verde	69
• Figura 7.- Área propuesta para circulación	75
• Figuras (8-10).- proceso de instalación de prototipo contenedor verde	76
• Tabla 4.- especificaciones técnicas prototipo contenedor verde	78
• Figura 11.- Dimensiones prototipo contenedor	79
• Figura 12.- Dimensiones sustrato, captador y bases	79
• Figura 13.- Volumen de sustrato	80
• Figura 14.- Volumen captador pluvial y peso en saturación	80
• Figura 15.- Volumen total de prototipo y peso en saturación	81
• Figura 16.- Dimensiones por módulo de prototipo	81

Capítulo 04- Evaluación y resultados

• Fotos (41-46).- colocación de sombra perimetral	82
• Tabla 5.- medidas de células de evaluación para proceso experimental	83
• Tabla 6.- selección de materiales para células de evaluación	84
• Gráfica 1.- comparativa de las temperaturas superficiales de los sistemas de techo.	86
• Figura 17.- Simulación de sombra generada por un módulo 12:00 p.m.	87
• Figura 18.- Simulación de sombra generada por un módulo 12:00 p.m.	88
• Figura 19.- Simulación de sombra proyectada por el sistema modular de cubierta naturada.	88
• Figura 20.- Corte en simulación sombra proyectada hacia cubierta.	89
• Figura 21.-Zoom simulación en corte para visualización de sombra proyectada.	89
• Figura 22.- Simulación de sombra proyectada en corte	90
• Figura 23.- Simulación de sombra proyectada en corte 4:00 p.m.	90
• Figura 24.-Corte transversal simulación sombra proyectada por módulos 10:00 a.m.	91
• Figura 25.-Representación gráfica del fenómeno “amortiguamiento” en módulos	93
• Figura 26.-Representación gráfica del fenómeno “carga muerta” en módulos	94
• Figura 27.-Representación gráfica del fenómeno “flujo de aire” en módulos	94
• Figura 28.-Representación gráfica del fenómeno “fotosíntesis” en módulos	95