

DISEÑO DEL MODELO PARAMÉTRICO PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO TÉRMICO DE UNA CUBIERTA VERDE

CASO DE ESTUDIO: VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN LA ZONA SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Alma R. Ortega Mendoza¹, José D. Morales Ramírez³

Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado Fac. de Arq. Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Interior s/n Ciudad Universitaria México, Tel. 56230064, Fax. 56161266mahelio55@gmail.com, josiediego.morales@gmail.com

Isabel R. López de Juambelz²,

Arquitectura de Paisaje, Fac. de Arq., Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Interior s/n Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Tel. 56220339 rocio_lopezdejuambelz@yahoo.com.mx

Miguel A. Canseco Martínez⁴,

Departamento de Polímeros Instituto de Investigación en Materiales Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Tel. 56224725 canma@servidor.unam.mx

RESUMEN

Se expone el diseño de un Modelo Paramétrico para monitorear el desempeño térmico de una cubierta verde, en el proceso de construcción del modelo se determinan los elementos y sistemas que lo componen así como los parámetros a medir al exterior y al interior de la edificación, considerando a la quinta fachada como una alternativa estética y técnica.

Respecto a la parte estética, la selección de las especies se hizo con base en su comportamiento en condiciones de vivero y el color de su follaje, ya que se quiere conocer las diferencias térmicas que provoca el color del follaje de la especie utilizada. En la paleta vegetal se consideraron sus características taxonómicas, fenológicas y los requerimientos ecológicos de cada especie, su ubicación responde a las características interiores del apartamento, ya que en cada espacio que es posible aislar se trató en la azotea con una especie vegetal diferente.

En la parte térmica es considerada las características térmicas de los materiales inertes que componen la estructura de soporte y las características térmicas de los materiales bióticos que componen la base vegetal de la cubierta. Por otro lado el desempeño térmico de la envolvente de la edificación y las condiciones de confort de los habitantes.

El modelo paramétrico será utilizado para validar un modelo matemático de predicción del desempeño térmico de dicha cubierta vegetada, en búsqueda de alternativas para mejorar las condiciones de comodidad térmico atmosféricas al interior de la edificación y lograr ahorros energéticos.

Otro aspecto tratado son los criterios de instalación de la cubierta, dando cumplimiento a los parámetros que establece 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.**

Para la aplicación del Modelo Paramétrico se seleccionó una vivienda de interés social ubicado en la zona sur de la Ciudad de México, en un clima templado subhúmedo

ABSTRACT

We present the design of a Parametric Model to Monitor the Thermal Performance of a Green Roof.

In the process of model building, we determine the elements and systems to use, as well as the parameters to be measured outside and inside the building, considering the *fifth facade* as an aesthetic and technical alternative.

Regarding the aesthetic part, the selection of species was based on their behavior in Plant Nursery conditions and the color of its

foliage due to our need to know the thermal differences caused by the color of the foliage of the species used. For the plant palette their taxonomic, phenological and ecological requirements of each species is considered, its location depends on the structure inside the flat since each space that can be isolated on the roof was treated with different plant species.

In the thermal part, these items are taken into consideration: the thermal characteristics of the inert materials of the support structure; the thermal characteristics of biotic materials that involve the plant base cover; the thermal performance of the envelope of the building and the comfort conditions of the inhabitants.

The Parametric Model will be used to validate a mathematical model for predicting thermal performance of vegetated soil cover in search of alternatives to improve the conditions of atmospheric thermal comfort inside the building and achieving energy savings.

Another aspect discussed are the criteria for installation of the roof, in compliance with the parameters established **ENVIRONMENTAL STANDARD FOR THE FEDERAL DISTRICT NADF-013-RNAT-2007** that set technical specifications for the installation of those systems in the Federal District.

For the purposes of applying a Parametric Model, it was selected a building of Social Housing located in the southern part of Mexico City, in a humid temperate climate.

Palabras claves: Cubierta vegetal, Desempeño térmico de cubiertas verdes, Balance Energético, Modelos Paramétricos

INTRODUCCIÓN

La superficie más expuesta a la radiación solar en las envolventes de las edificaciones es la cubierta o quinta fachada, está sujeta a las mayores fluctuaciones térmicas, ya que durante el día alcanza elevadas temperaturas y durante la noche es la superficie de la edificación que más calor pierde por radiación hacia el espacio. Se impone como una medida prioritaria buscar un elemento de aislamiento, la cubierta vegetal se vuelve una opción, abarcando aspectos arquitectónico-constructivos, estéticos y medio ambientales. Se vuelve un material vivo y activo que interactúa con el medio ambiente modificándolo a través de sus propios procesos, así como un aislante térmico en la envolvente de las edificaciones.

Determinar el flujo de calor a través de una cubierta vegetal depende de la composición del sistema a utilizar, esto tiene que ver con los materiales inertes, la mezcla del sustrato y el tipo de especies ya que cada una tiene características específicas y funcionan de manera diferente en su desempeño térmico por lo que sigue siendo necesario realizar estudios paramétricos además de utilizar algún método predictivo.

El objetivo del presente Modelo Paramétrico es medir físicamente el desempeño térmico de la cubierta vegetal, para validar la Metodología de Cálculo de Conductividad Térmica Equivalente¹ en un clima templado subhúmedo y la efectividad de la cubierta verde como aislante térmico en las dos épocas extremas (calurosa y fría).

Para llevar a cabo dichas mediciones, se ha seleccionado una vivienda de interés social en la Delegación de Xochimilco, cubriendo los siguientes requisitos: la quinta fachada está expuesta a la radiación solar sin tener elementos naturales o construidos que la obstruyan en su alrededor, estar construida de concreto uno de los materiales más utilizados en este tipo de construcciones y tener orientación desfavorable, ocasionando térmicamente falta de confort a los usuarios y consumos energéticos adicionales.

DESARROLLO

Ubicación y descripción del inmueble

El edificio se encuentra localizado en la zona noreste de la Delegación de Xochimilco al sur de la Ciudad de México, (ver figura 1) sobre Av. Prolongación División del Norte, Col. Paseos del Sur, su ubicación geográfica es la siguiente; Latitud 19° 16' 30'' N, Longitud 99° 09' 15'', Altitud 2,250 msnm, se ubica entre el Anillo Periférico hacia el norte, la Av. Guadalupe Ramírez al sur, Barrio 18 al este y Ampliación Tepepan al oeste.

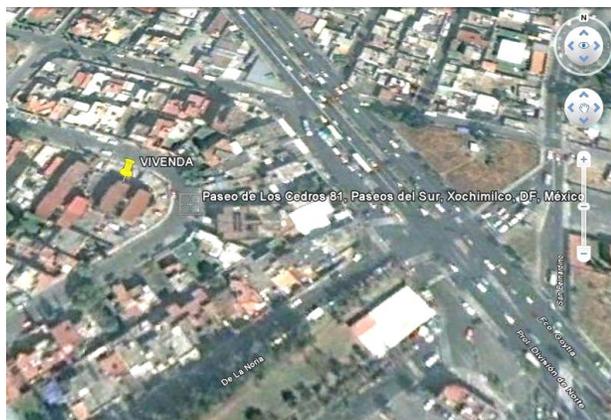


Figura 1. Ubicación de la vivienda

Tiene orientación NE, y la distribución de la vivienda al interior es la siguiente; las 2 recamaras tienen muro ciego hacia el norte, en las fachadas este y oeste tienen ventanas, en los meses de mayo, junio y julio reciben radiación solar directa las tres fachadas y el techo teniendo temperaturas medidas al interior hasta de 31°C, esta condición obliga a conservar las ventanas abiertas en las horas de la tarde y noche, hacia la fachada sur colinda con otro departamento colocado en espejo, impidiendo en el resto de los meses ganancia de calor por radiación en dicha fachada, esto hace

que se tengan temperaturas de 14°C al interior en el mes de enero siendo estas las más bajas, esta condición obliga a utilizar un calefactor eléctrico en los meses de noviembre, diciembre y enero principalmente.



Figura 2. Vista de la fachada norte.

El inmueble cuenta, probablemente con cimentación de concreto armado con zapatas corridas, tiene muros de carga de concreto y muros convencionales de carga de tabique gris, castillos de concreto y losa de concreto de 10cm de espesor sin relleno, entrepisos de losa maciza de concreto, acabado de exteriores con cemento en proporción 1:4 y pintura vinilica, el área de losa es de 59.83m² con una pendiente del 4.3% hacia la fachada poniente. (ver figura 2)

Condiciones climáticas

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, modificado para la República Mexicana por E. García (1969)², en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, existen básicamente dos tipos de climas Templado subhúmedo, con verano fresco largo y con lluvias en verano (Cw), y Semiseco templado, con verano cálido, con lluvias en verano (Bs).

Estos dos tipos de climas sufren ligeras modificaciones por su régimen pluviométrico.

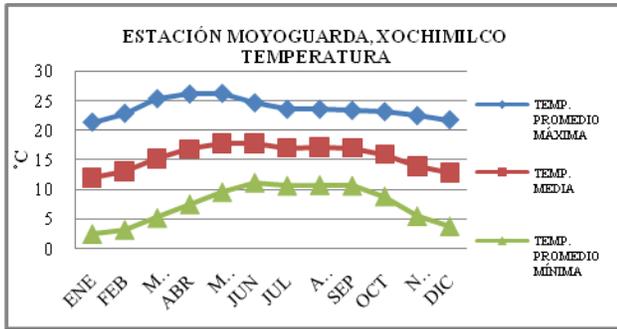
En relación a la caracterización del clima, a continuación se presenta las gráficas de parámetros climáticos, con registros continuos de 1971 al 2000, tomados de la estación meteorológica Moyoguarda de la Delegación de Xochimilco, con las siguientes coordenadas; latitud 19°15'00"N, longitud 99°06'00"W, y altitud de 2252 msnm.

El análisis del clima, permite determinar las condiciones térmico-atmosféricas al exterior del techo y por lo tanto a las que estará expuesta la vegetación, y al interior para determinar las condiciones de confort, los elementos a considerar son:

a) con respecto a la temperatura ambiente, se determina la época más calurosa y la más fría, tanto para definir las condiciones de confort al interior del espacio arquitectónico, como para establecer las temperaturas a las que estarán sometidas las especies vegetales, teniendo la máxima normal en mayo con 26.2°C, la mínima normal con 2.5°C en el mes de enero.

¹ Machado, Britto, Neila, (2004), El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica, Ambiente Construido, Revista Da Antac

² García E. (1967) Apuntes de Climatología, México, pág. 153



Gráfica 1. Temperatura ambiente

Para determinar el rango de confort se utilizó la Ecuación de Aluciemis de termopreferendum (tn)

$$t_n = [17.6 + 0.31(t_e)] \pm 2.5$$

Donde:

Th= Temperatura comodidad humana

Te= Temperatura media promedio mensual

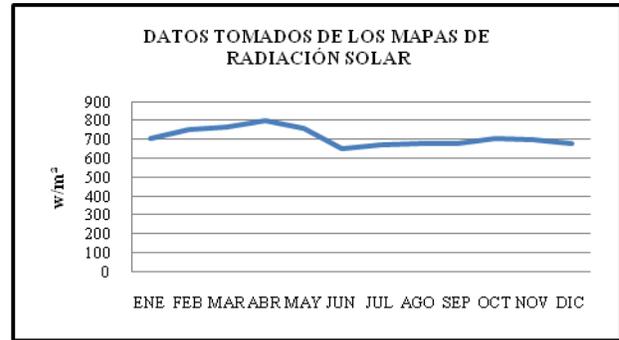
Como se observa en la tabla del rango de confort, en los meses de enero y mayo se presentan las condiciones extremas a las que los usuarios de la vivienda deben estar, sin embargo como se comentó anteriormente en los resultados de las mediciones se tiene que en mayo se llegan a tener hasta 31°C al interior, prácticamente 6°C de diferencia y en enero de 14°C al interior con una diferencia de 4°C, quedando fuera de los rangos de confort.

RANGO DE CONFORT		
	MAX.	MÍN.
ENERO	23.789	18.789
FEBRERO	24.13	19.13
MARZO	24.812	19.812
ABRIL	25.308	20.308
MAYO	25.618	20.618
JUNIO	25.618	20.618
JULIO	25.37	20.37
AGOSTO	25.401	20.401
SEPTIEMBRE	25.37	20.37
OCTUBRE	25.029	20.029
NOVIEMBRE	24.409	19.409
DICIEMBRE	24.068	19.068

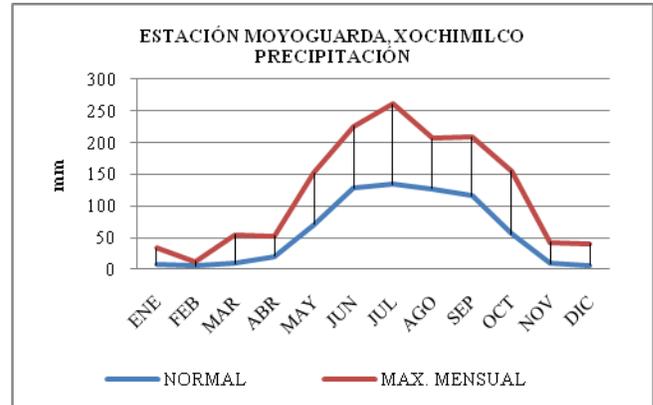
Tabla 1. Rango de confort

b) los niveles de radiación solar, permitirán establecer el % absorbido por las hojas y por el suelo o sustrato, y los intercambios radiactivos de longitud de onda larga entre hojas, cielo y superficie del suelo, teniendo los niveles máximos en los meses de abril y mayo con 800 y 757w/m² respectivamente.

c) con respecto a la precipitación, se obtiene primero los periodos en que se presenta los más altos y bajos niveles y segundo las condiciones de marchitamiento de la vegetación y de capacidad de campo del suelo, considerando dos procesos, su fase líquida (agua), y su fase gaseosa (aire y vapor de agua), teniendo el mes con mayor precipitación julio con 133.4mm., y el mes de febrero con la mínima de 5.5mm.

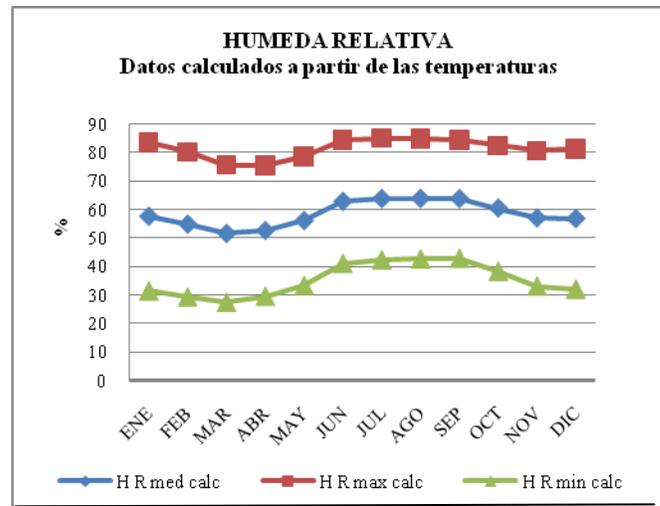


Gráfica 2. Radiación solar



Gráfica 3. Precipitación

d) con la humedad relativa, se estimará los rangos de confort al interior y estará relacionada con los procesos de evapotranspiración y evaporación de la vegetación, también con la evaporación/condensación del vapor de agua contenido en el suelo y el aire, la promedio media máxima se presenta en julio, agosto y septiembre con el 64% y la promedio mínima en el mes de marzo con un 27%



Gráfica 4. Humedad relativa

e) la velocidad y dirección del viento, tendrá su influencia en la transferencia convectiva de calor entre las hojas y el aire del dosel, y entre la superficie del suelo y el aire del dosel, así como también en la distribución de la vegetación en la cubierta, ya que

cada especie se desarrolla de manera distinta ante el viento. Velocidad del viento es de 2.98m/s, en el mes de abril siendo la más alta con una dirección de NE y SE, la velocidad más baja se presenta en el mes de noviembre con 1.66m/s y con dirección del SE, es importante considerar el mes de julio donde se presentan con una velocidad de 2.60m/s con una dirección del NE Y NW, aunado a la precipitación.

Selección de la paleta vegetal, cantidad y densidad por especie.

La principal característica de la cubierta vegetal es ser un material vivo y activo que interactúa con las condiciones climáticas del lugar, por esta razón la selección de las especies se consideraron para soportar temperaturas extremas y con exposición directa a la radiación solar, capacidad para crecer en suelo de poca profundidad, en algunos casos la distribución de su hoja es de manera horizontal para garantizar una baja transmisión de la radiación solar, para esto se establecieron sus características fenológicas (relación entre los factores climáticos y los ciclos de vida de cada especie) y sus requerimientos ecológicos así se podrá establecer y analizar las distintas unidades vegetales, su representación de cobertura de follaje (LAI)³ y su requerimiento de mantenimiento.

En este sentido se establecieron las siguientes consideraciones:

- Especies que requieren el mínimo mantenimiento (riego y poda), considerando que se trata de una cubierta vegetal de tipo extensivo.
- Selección de especies con colores rojos, verdes, morados y verde grisáceo para valorar los niveles de transmitancia, reflectancia y absorción de la radiación de onda corta.
- Brillantes y opacidad, lo que será una variable relacionada con la reflectancia de las hojas del dosel.
- Se contara con especies de porte bajo y alto en edad adulta, lo que permitirá apreciar los procesos de evapotranspiración, evaporación y condensación, así como los del comportamiento de la conductividad térmica de la cubierta, para tal efecto se seleccionaron herbáceas y sedum.

Paleta vegetal		
NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	IMAGEN
<i>Scatcreasea purple queen</i>	Niña en barco	
<i>Sedum x rubrotinctum</i>	Dedos de niño	
<i>Senecio cineraria</i>	Cenizo	
<i>Mesembryanthemum educe</i>	Dedo moro	

³ El Índice de área de Hoja (LAI) es el área total de hojas (sólo en una cara) contenida en un volumen de unidad base.

Tabla 1. Paleta vegetal

El primer criterio para determinar la cantidad de m² por especie es, considerar a la cubierta como zonas homogéneas ya que como se sabe, la concentración de vapor en el aire aumenta significativamente durante el día y la percepción de esto se debe al área total de cada especie, además a partir de su distribución se determinara la unidad base⁴ para medir el volumen del follaje, el cual genera su desempeño térmico, el segundo criterio es que la densidad del follaje tiene dos efectos en el fenómeno de energía de la capa vegetal; a) el efecto de sombreado y b) la transpiración ya que está relacionada nuevamente con el área total de las hojas.

Para la cuantificación de las especies en densidad y cantidad, se realizo mediante el método de bolillo, considerando el diámetro de la especie en edad adulta entre la cantidad de metros a cubrir y su ubicación corresponde a la distribución arquitectónica con el propósito de tener condiciones controladas al interior.

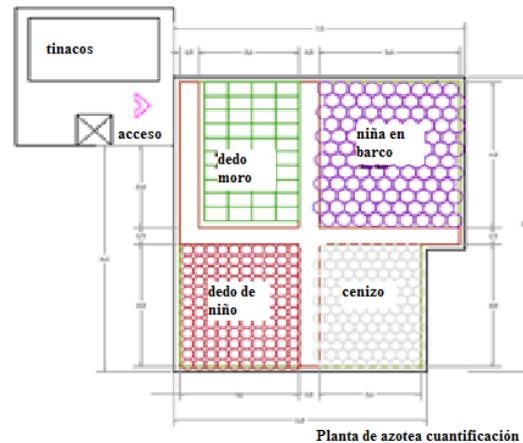


Figura 3. Cuantificación de especies y distribución

Cantidad de piezas por especie	
Dedo moro	200
Niña en barco	130
Deditos	100
Cenizo	130

Tabla 2. Cantidad de piezas por especie

Composición del suelo o sustrato

Se sabe que los suelos son medios porosos y están compuestos por: fase sólida (minerales y materiales orgánicos), fase líquida (agua) y gaseosa (aire y vapor de agua), considerando esta composición se puede decir que el calor es transportado en su fase sólida por conducción, en la líquida y gaseosa por convección y calor latente por difusión de vapor por los poros.

En la fase sólida, es necesario considerar, la porosidad permite la permeabilidad y drenaje, en relación al color del sustrato se ha comprobado en los estudios analizados que la radiación reflejada y emitida desde las áreas vegetadas se incrementó por el color oscuro del suelo o sustrato, debido al % de absorción de la radiación de onda corta⁵, por lo que se usara como elemento poroso Agrolita Humus, el cual contiene: 50% agrolita y 50% humus en volumen, su densidad = 180 - 200 kg/m, y un pH = 6.8-

⁴ Palomo del Barrio Elena, (1998) Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. Energy and Buildings, 27

⁵ Nyuk Hien Wong, (2007), Study of thermal performance of extensive rooftop greenery system in the tropical climate. Building and Environment, vol.42,

7.5, es de color claro, muy ligera, retenedor de agua, tiene fertilizante orgánico y será mezclado con el suelo vegetal.

El espesor de la capa esta determinado principalmente por el tamaño y tipo de vegetación, que en este caso es de 7cm., para controlar el crecimiento de las especies, aligerar el peso y permitir un adecuado drenaje.

Composición del suelo		
Nombre	Cantidad	Presentación
Agrolita Humus	10	Costales de 100 lt.
Tierra negra	2 1/2m ³	Costal
Tierra de hoja	1 m ³	Costal

Tabla 3. Composición del suelo o sustrato

Sistema de materiales inertes

Los materiales inertes que componen el sistema y la estructura se les llaman **estructura soporte**, los materiales utilizados en este sistema fueron previamente analizados junto con otros para obtener sus propiedades térmicas (conductividad, calor específico y densidad), en el Instituto de Materiales de la UNAM, datos que serán utilizados para el cálculo del desempeño térmico.

La composición de este sistema es: a) una capa de emulsión como base para una carpeta asfáltica como impermeabilizante, b) una geomembrana de PVC, que tendrá la función de impermeabilizate y retenedor de la raíz, c) un dren que está hecho de un geocompuesto, que tendrá la capacidad de eliminar con rapidez el excedente de agua de lluvia que no sea requerido por el suelo y filtros para evitar el deslave del sustrato.

Materiales de la estructura soporte		
Producto	Descripción	Imagen
1*Losade concreto	Losade concreto armado de 10cm.	
2*Impermeabilizante	Sistema impermeable laminar asfáltico Elastoply Mca. Texsa de 3.5mm. espesor, sobre una capa emulsión bituminosa de baja densidad Euprimer y uso de sellador plástico Plastex en juntas y uniones.	
3*Geomembrana	HDPE, EML-40 Mca. ML Ingeniería, de 1mm. De espesor. Impermeabilidad y, alta resistencia contra rompimiento causado por agentes químicos agresivos y ambientales.	
4*Geocompuesto	GMG 512, compuesto de una geored de polietileno de alta densidad (HDPE) de 5mm. de espesor cubierta con dos geotextiles termofijados a la geored, Mca. ML Ingeniería	

Tabla 4. Especificaciones técnicas de los materiales inertes del sistema de naturación

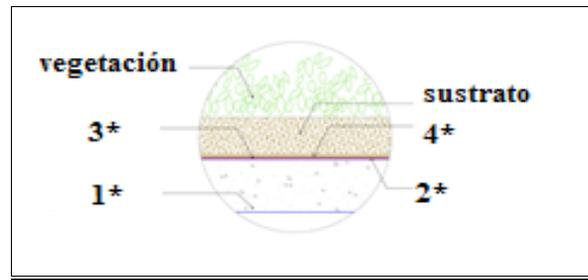


Fig. 4. Detalle del sistema de naturación

Selección del equipo a utilizar para el monitoreo

Para la selección del equipo se consideraron tres aspectos:

a) los térmico-ambientales, que como ya fue señalado nos permite conocer las condiciones a las cuales se están exponiendo la cubierta vegetal y la envolvente de la edificación, por lo tanto se instalo, una Estación Meteorológica, para medir temperatura, y humedad relativa, un Pyranometro para la radiación solar, todos estos registros estarán comparados con los datos de la Estación Meteorológica del Plantel Preparatoria No. 1 Xochimilco, UNAM dado la cercanía de la estación.

b) en la cubierta vegetal, dada su composición se instalaron Quits de sensores externos para aire, agua y sólido, además de instalar un sensor de temperatura en la frontera entre los materiales y el suelo o sustrato, se coloco otro sensor en el lecho alto de la losa en las cuatro secciones y en la losa del departamento vecino utilizándolo como testigo.

c) al interior de los espacios, en el caso del área experimental se colocaran sensores de temperatura en el lecho bajo de la losa, una Sonda de Globo de calor radiante y Hobos para medir temperatura, humedad relativa e iluminación cabe señalar que se están tomando mediciones desde el mes de noviembre del 2008.

Equipo de medición	
Al interior de la edificación	
Descripción	Tipo y modelo
Set de termómetros, instalados en las siguientes áreas: estar y dos recamaras	Hobo U12 temp/RH/iluminación External data logger
Sensor de temperatura lecho bajo de losa	Hobo U12-H8 sensor de temperatura para aire/agua/solido
Sonda de globo (calor radiante) -10 +100° C, tamaño 150 mm	G.I.S Ibérica, modelo TE491M
Al exterior de la edificación	
Descripción	Tipo y modelo
Estación meteorológica Temperatura ambiente/humedad relativa	
Pyranometro	Marca <i>Koeppe & Zonen</i>
En el sistema de naturación	
Quits de sensores de temperatura lecho alto de losa y cables	Hobo U12 -H8 sensor de temperatura para aire/agua/solido
Quits de sensores de temperatura, para el sustrato y vegetación	Hobo Pendat, temperature Data Logger Part UA-001-XXJ
Quit de Sensor inteligente para Humedad de Suelo (10 cms.) con cable de 5 mts.	Mca. Onset Computer, modelo S-SMB-M005

Tabla 5. Descripción de los equipos de medición.

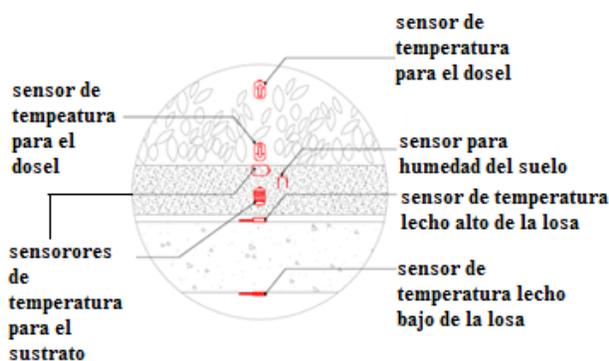


Fig. 5. Detalle de la ubicación de los equipos de medición

Crterios de instalación de la cubierta

Para la instalación de la naturación, se realizaron en apego a los criterios que establece 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 DISTRITOFEDERAL, a continuación se enumeran:

1. Se garantiza el correcto comportamiento estático y estructural de la construcción a través de una inspección ocular de un DRO.
2. En virtud de contar con una losa inclinada, se construyó un pretil de dos hiladas, con aplanado y un chaflán por el interior de 45° de inclinación. Respecto al desagüe se colocaron 8 salidas hacia un canalón conectado a tubo de PVC, para la descarga.
3. La selección de los materiales impermeables fueron garantizados por las fichas técnicas y cartas de garantía de los proveedores, protegiendo a la edificación de los agentes climáticos previsible y garantizando la evacuación total del agua excedente una vez alcanzado el estado de saturación del sistema, así como la resistencia a la acción de las raíces sobre la estructura para evitar daños.
4. El tipo de naturación seleccionada corresponde a la extensiva, teniendo una carga de 65.47kg/m² en estado de saturación menor a 110kg/m² como marca la Norma debido esto a la altura del sustrato de .07cm y a su composición antes descrita, considerando como altura máxima del crecimiento de la vegetación de 40 a 50cm, y con una inclinación del techo de 4.3%.



Fig. 6 Vista de la plantación

Periodos de medición

Los periodos de medición se consideran en tres momentos:

1. Para conocer el desempeño térmico de la envolvente de la edificación sin cubierta vegetal es necesario medir por lo menos un año.
2. En un segundo año es conveniente conocer el desempeño de los materiales inertes y el sustrato, en virtud de que la vegetación está en proceso de adaptación y crecimiento. Es conveniente aclarar que actualmente el modelo se encuentra en esta etapa de desarrollo.
3. En el tercer año se pueden identificar con claridad y precisión los siguientes parámetros; modificaciones en las condiciones térmico- atmosféricas ambientales, el desempeño térmico de los materiales inertes, térmicos y ópticos del sustrato y la cobertura vegetal, las condiciones de confort al interior del espacio en las temporadas frías y calurosas, la diferencia o no de conducción del calor a través del efecto del albedo y densidad del follaje ante los aspectos de evapotranspiración, transpiración y sombreado en las diferentes especies vegetales

CONCLUSIONES GENERALES

En el diseño del Modelo Paramétrico se consideraron: los parámetros ambientales que impactan tanto a la construcción como a la vegetación que se colocó, la selección de las especies responden a los espacios que pueden ser controlados al interior y con estructuras diferentes tanto en su tamaño como en el color, todos los elementos inertes fueron previamente analizados y seleccionados a partir de los resultados en laboratorio y finalmente la instalación de la cubierta responde a la Normatividad vigente en el Distrito Federal. Además de contar con los primeros resultados de las mediciones sin cubierta verde en el lapso de un año y con cubierta verde en la época calurosa.

AGRADECIMIENTOS:

El presente artículo se realizó con el financiamiento de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico en su Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIT) de la Universidad Nacional Autónoma de México, para la investigación: "QUINTA FACHADA UNA PROPUESTA ESTÉTICA Y TÉCNICA" con Número IN404608.

También se agradece la participación de la Arq. Ilse García Villalobos, por su valiosa colaboración.

BIBLIOGRAFÍA:

- Palomo del Barrio Elena, (1998) Analysis of the green roofs cooling potential in buildings, Energy and Buildings, 27 pp.188
- Niachou a. et al, (2001), Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance, Energy and Building, Vol. 33, pág. 719-729.
- G. Theodore, Theodosiou, (2003), Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique, Energy and Buildings, Vol. 35. Pág. 909-917.
- Machado, Britto, Neila, (2004), El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica, Ambiente Construido, Revista Da Antac
- Vecchia Francisco et al, (2006), Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales, Tecnología y Construcción, vol. 22 n.2
- Nyuk Hien Wong, (2007), Study of thermal performance of extensive rooftop greenery system in the tropical climate, Building and Environment, vol.42, Pág. 25-54.