

MODELO EXPERIMENTAL FACTORIAL PARA ANALIZAR EL DESEMPEÑO TÉRMICO E HÍDRICO DE SUSTRATOS UTILIZADOS EN SISTEMAS DE NATURACIÓN EXTENSIVA DE CUBIERTAS EN MÉXICO

^{1*}García Villalobos, I.; ²López de Juambelz, R.

¹ Estudiante del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura UNAM

² Académico del Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura UNAM
Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria, Unidad de Posgrado, Edificio H
Delegación Coyoacán, C.P.04510, México, D.F.
e-mail: *ilse1122@yahoo.com.mx

RESUMEN

El empleo de sistemas de naturación ofrece múltiples externalidades positivas, como son los beneficios públicos y privados tanto a escala arquitectónica como urbana, entre los que destacan el efecto de regulación térmica y manejo de aguas pluviales en las edificaciones. Estudios actuales sobre ésta tecnología se han restringido a considerarla como un solo elemento, lo que ha impedido determinar la acción que ejerce de cada uno de sus componentes, por tanto se ha diseñado un modelo experimental factorial que estudie al sustrato, que ha sido considerado como uno de los elementos más relevantes en la naturación, y analizar el desempeño térmico e hídrico que aporta al sistema.

El modelo relaciona la calidad del sustrato, definida por cinco distintos tipos de sustratos utilizados actualmente en México, con la profundidad del sustrato, con 2 espesores correspondientes al sistema de naturación extensivo, y como variables constantes la localización, la especie vegetal *Sedum x rubrotinctum*, y el tipo riego durante el establecimiento vegetal; las variables dependientes serán el desempeño térmico e hídrico del sustrato, analizados por una serie de pruebas realizadas en campo y en laboratorio. Reconociendo la influencia que tiene el sustrato podrán crearse estrategias y mayores posibilidades de diseño en cuanto a recursos, procedimientos constructivos y diseño bioclimático, optimizando el desempeño térmico e hídrico de los sistemas de naturación como herramienta básica en el trabajo arquitectónico.

Keywords: naturación, sustrato, modelo experimental, azotea verde.

1.- La naturación como envolvente

El crecimiento desmesurado de las ciudades ha traído como consecuencia el aumento de superficies duras e impermeables y la disminución y deterioro de las áreas vegetadas. La ausencia de vegetación en la vida citadina trae consigo problemas de distintas índoles, desde ambientales hasta psicológicos; por tal motivo se han buscado nuevas formas que permitan la incorporación de masa vegetal en aquellos espacios que han sido poco valorados como lugares para el crecimiento de vegetación; entre estos espacios se encuentran las envolventes arquitectónicas [1].

Una tecnología constructiva que permite la incorporación de vegetación sobre superficies edificadas es la naturación, en las envolventes de las edificaciones destaca su uso en las cubiertas. Su empleo provee distintos tipos de beneficios: ambientales, arquitectónicos, constructivos, estéticos, económicos, etc., todos ellos tanto privados como públicos; éstos varían de acuerdo al tipo de sistema de naturación utilizado [2].

Es necesario conocer el funcionamiento del sistema de naturación en su totalidad y de cada elemento que lo conforma para comprender su desempeño y así optimizar sus beneficios, por tal motivo hemos decidido realizar investigación de esta tecnología.

1.1.- Componentes y clasificación de los sistemas de naturación

Los sistemas de naturación están conformados por una serie de elementos que deben cumplir funciones específicas como se muestra en la (fig.1), los materiales que se empleen para cubrir dicha función varían de acuerdo a la región en donde se construya.

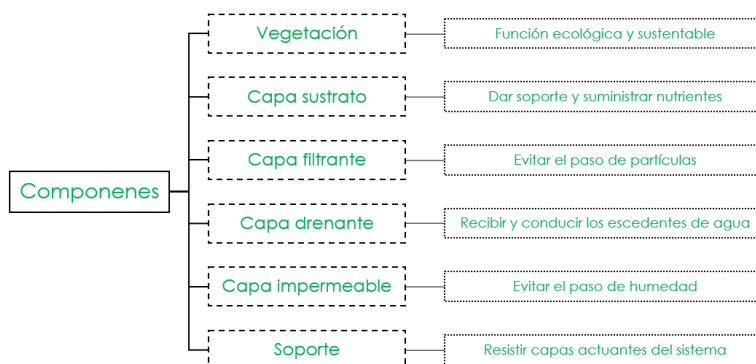


Fig. 1 “Componentes de un sistema de naturación”. Fuente: García, I. México, 2011.

Existen distintas clasificaciones para los tipos de sistemas de naturación: de acuerdo al espesor del sustrato, a las especies vegetales seleccionadas y al mantenimiento que requieren. Sin embargo, de forma general se dividen en tres tipos (Tabla. 1):

Características/ Tipo de naturación	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Espesor del sustrato	6 – 12 cm	12 – 30 cm	+ 30 cm
Peso m ²	60 – 150 kg/m ²	120 - 250 kg/m ²	+ 250 kg/m ²
Riego	No	Periódicamente	Regularmente
Mantenimiento	Bajo	Periódicamente	Alto
Altura aprox. de vegetación	5 -50 cm	5 -100 cm	5 – 400 cm
Costo	Bajo	Medio	Alto

Tabla 8 “Clasificación de los sistemas de naturación”

La problemática ambiental actual ha fomentado la creación e investigación de tecnologías sustentables que contribuyan a su mejoramiento, visión que reafirma el

sistema extensivo, ya que genera beneficios a un costo bajo en comparación de los otros sistemas y con mínimo o nulo mantenimiento, por lo cual se considera una herramienta ecológica que brinda mejoras reales al ambiente sin exigir ni malgastar recursos, por tal motivo se ha seleccionado este tipo de sistema para ser analizado. El estudio en México sobre naturación se ha restringido a considerarla como un solo elemento, impidiendo determinar la acción que ejerce de cada uno de sus componentes, por ello se ha decidido realizar investigación sobre el desempeño del sustrato, el cual ha sido considerado como uno de los elementos más relevantes del sistema, el análisis se realizará por medio de un modelo experimental factorial donde se observará el desempeño térmico e hídrico que aporta al sistema, éstos estudios forman parte de la investigación doctoral “El desempeño térmico, acústico e hídrico del sustrato en los sistemas de naturación extensiva de cubiertas”, realizada en el Programa de Maestría y Doctorado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

1.2.- Beneficios de la naturación

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

Las externalidades son definidas como efectos colaterales de una actividad económica, pueden ser positivas o negativas. Las externalidades de la naturación son predominantemente positivas, es muy difícil encontrar efectos negativos de estos sistemas, cuanto no sea el que el financiamiento de ellos deba ser público y por lo tanto “los recursos compitan” con otras prioridades de inversión pública. Entre las externalidades positivas que la naturación proporciona como bien, se encuentran los beneficios que brinda [3], para este análisis abordaremos dos de dichos beneficios: regulación térmica y manejo de aguas pluviales.

1.2.1- Regulación térmica

Uno de los mayores efectos de regulación térmica en los sistemas de naturación está dado por la capa sustrato [4], existen datos que indican que el promedio de reducción térmica en una cubierta naturada con tres distintas especies vegetales definidas por el tipo de color y con un sustratos de 7.5 cm de espesor registra una fluctuación total diaria de temperatura entre dentro y debajo del sustrato de 18.08 °C para el mes de enero y de 14.13 °C para el mes de junio [5], los registros se observan en la (fig.2), donde se aprecia que las mayores reducciones térmicas en las diferentes capas del sistema de naturación se dan por la capa sustrato.

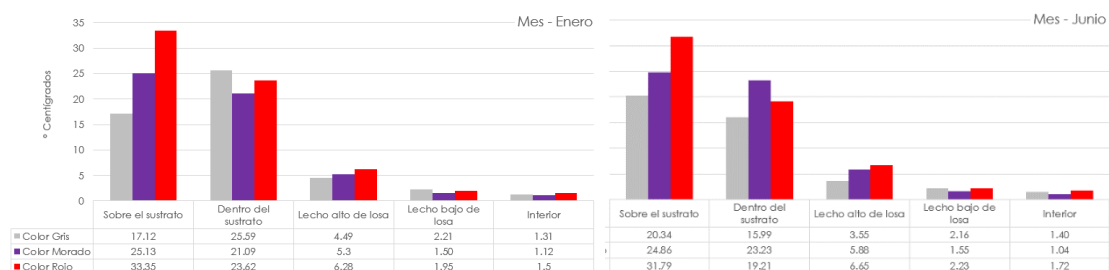


Fig. 2 “Gráfica comparativa de fluctuación térmica diaria en distintas posiciones en la naturación en los meses de enero y junio”. Fuente: García, I. México, 2011

Estas reducciones térmicas logran mayores índices de confort ambiental al interior, como lo muestran los datos registrados en la (fig.2), donde la fluctuación térmica diaria mínima en enero fue de 1.12°C y en junio 1.04°C en el sistema con vegetación de color morado. El efecto de regulación térmica trae como consecuencia mayor confort ambiental, además de disminuir consumos energéticos por acondicionamiento de aire, reduciendo gasto de recursos energéticos y económicos.

1.2.2- Manejo de aguas pluviales

El agua que es depositada sobre una cubierta naturada es captada por el sustrato, de ahí una parte es absorbida por las plantas y luego devuelta a la atmósfera mediante el proceso de evapotranspiración, otra queda retenida por la estructura del sustrato y la sobrante es drenada lentamente del sistema.

Se sabe que los sistemas de naturación pueden reducir la escorrentía de una edificación, por consecuencia disminuir la tasa de flujo máximo y el volumen del sistema de alcantarillado; todo ello dependiendo de la intensidad de las precipitaciones y características del sustrato.

Se estima que una cubierta naturada puede absorber, filtrar, retener y almacenar un promedio de alrededor de 75% de la precipitación anual que cae sobre ella [6].

Mediciones divulgadas por la Universidad de Kassel indican que el retraso del desagüe de agua pluvial después de una fuerte lluvia con duración de 18 horas en una cubierta naturada de 12° de inclinación y 14 cm de espesor del sustrato fue de 12 horas, y terminó de drenar 21 horas después de que dejara de llover (fig.3). El desagüe pluvial ascendió en ese período de tiempo sólo al 28,5% [7].

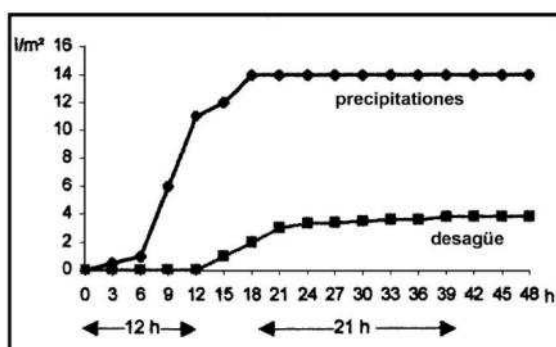


Fig. 3 “Volumen de precipitaciones y de desagüe pluvial en una cubierta naturada después de una lluvia continua de 18”. Fuente: Minke, G. Cuba, 2014

2.- Modelo experimental factorial

Con el objetivo de determinar el desempeño térmico e hídrico de distintos sustratos utilizados actualmente en México en los sistemas de naturación extensiva se diseñó un modelo experimental factorial que relaciona distintas variables de análisis: independientes, dependientes y constantes, a continuación se describen.

2.1.- Variables independientes

Como variables independientes se seleccionaron la calidad y la profundidad del sustrato, las cuales se relacionan y crean una matriz de los distintos tipos de muestras a analizar (fig.4). La calidad del sustrato es definida por cinco diferentes tipos de sustratos, tres de ellos han sido diseñados y probados por académicos reconocidos de distintas instituciones de educación superior en México, otro es un sustrato diseñado y utilizado comercialmente en el mercado mexicano y el quinto ha sido diseñado según las recomendaciones de la Norma Ambiental NADF-013-RNAT-

2007 [8], la cual establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el Distrito Federal, México.

La profundidad del sustrato será dada por dos espesores: ocho y seis centímetros, los cuales se encuentran dentro de la categoría de sistemas de naturación extensivos. El objetivo de utilizar dos espesores es observar si existen cambios significativos en los desempeños estudiados y en el efecto que tiene en el desarrollo de la cobertura vegetal en cada sustrato.

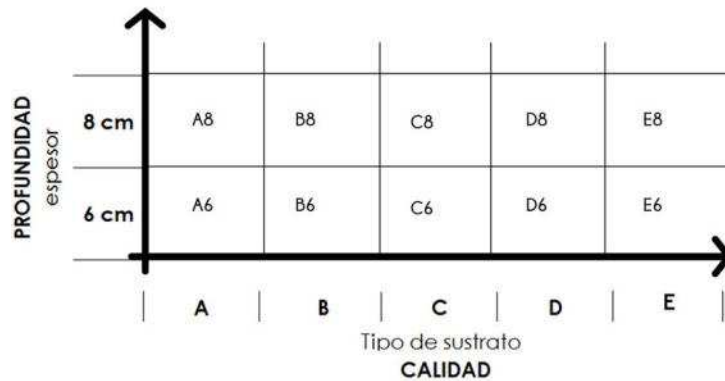


Fig. 4 “Relación entre variables independientes”. Fuente: García, I. México, 2014

Teniendo los cinco tipos de sustratos con dos distintos espesores, se tendrá un total de 10 muestras diferentes mismas que tendrán cuatro repeticiones cada una para validar las pruebas de análisis.

2.2.- Variables dependientes

Las variables dependientes a estudiar son el desempeño térmico e hídrico y la caracterización física y química de cada sustrato; además de la evaluación del desarrollo vegetal según el tipo de sustrato utilizado.

El análisis del desempeño térmico se realizará en laboratorio y en campo. En laboratorio se obtendrán datos de calor específico y conductividad térmica de cada tipo de sustrato y reducción térmica del sustrato con vegetación, esto debido a que no existe ningún registro de dichas características en México, las pruebas se realizarán en el Instituto de investigación de materiales de la UNAM. Por las características y forma de operación del conductivímetro y de la cámara térmica, es necesario emplear contenedores para realizar las pruebas, se utilizaran de cajas de triplay canto plateado de 15 mm de espesor, con una dimensión de 0.30 m de largo x 0.30 m de ancho y dos distintas alturas, de 0.08 y 0.06 m, que corresponden a las dos profundidades seleccionadas (fig.5), cada prueba se realizará por triplicado.

En campo se obtendrá el registro térmico de los distintos tipos de sustrato por medio del uso de sensores de temperatura, colocados en cada módulo de prueba que son de plástico, con una dimensión de 0.60 m de largo x 0.30 m de ancho y dos distintas alturas, de 0.08 y 0.06 m (fig.5).



Fig. 5 “Módulos de prueba en laboratorio y campo”. Fuente: García, I. México, 2014

El análisis para desempeño hídrico constará en registrar la capacidad de campo de cada tipo de sustrato en condiciones ambientales en tiempo real, utilizando los mismos contenedores plásticos de prueba (fig.5), y las cuatro muestras para cada mezcla, tanto para el sustrato solo como para los sustratos con vegetación. Además se analizará la cantidad volumétrica de líquido retenido y drenado por los contenedores de acuerdo a la cantidad de precipitaciones registradas, también se analizará la calidad del agua drenada por medio de la medición de sólidos suspendidos y sólidos totales presentes.

Para caracterizar física y químicamente los sustratos se realizarán diversas pruebas en el Laboratorio de conservación del patrimonio natural y cultural del Posgrado de arquitectura de la UNAM, entre ellas destacan:

- Parámetros físicos: Textura, densidad real, densidad aparente, porosidad, humedad, capacidad de campo, color y propiedades ópticas
- Parámetros químicos: pH, materia orgánica y determinación de nutrientes disponibles.

El crecimiento y desarrollo de la vegetación en cada tipo de sustrato es otra variable dependiente, donde se medirá la cobertura vegetal, teniendo en cuenta la densidad y altura de la vegetación en cada módulo en relación al tiempo.

2.3.- Variables constantes

Las variables constantes son la localización del modelo experimental de campo, la especie vegetal y el tipo de riego.

El modelo experimental será colocado en la cubierta del Edificio J de la Unidad de Posgrado (fig.6), ubicado en la zona cultural de Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, al sur de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, en las coordenadas 19° 20' 01" latitud Norte y 99° 11' 54" longitud Oeste, a una altitud de 2268 msnm, el clima es templado con lluvias en verano según el sistema de clasificación climática de Köppen (Cw).



Fig. 6 “Ubicación del modelo experimental factorial”. Fuente: García I.

Otra variable constante es la especie vegetal a utilizar en las pruebas con los distintos sustratos, así podrá compararse el crecimiento de la vegetación en cada sustrato. La especie seleccionada es la *Sedum x rubrotinctum* (fig.7), la elección de utilizarla fue debido a sus características físicas y adaptabilidad a las condiciones ambientales extremas y que requiere de un mantenimiento bajo.

Existen datos donde se demuestra que la especie cuenta con una buena cobertura y supervivencia en los sistemas de naturación extensiva [9], además de que sus hojas se tornan rojizas por la deficiencia nutricional, sugiriendo el estado de los sustratos.



Fig. 7 “Especie vegetal Sedum x rubrotinctum”. Fuente: García, I. México, 2014

Solamente durante la consolidación de la especie vegetal se realizará riego en los distintos módulos de prueba, el tipo de riego será una variable constante ya que será a capacidad de campo en todos los sustratos.

3.- Registro de datos

Aunque el registro de los datos de monitoreo térmico e hídrico sobre los módulos de prueba se realizará durante más de un año, se han determinado periodos específicos de tiempo para analizar cada variable dependientes según las condicionantes ambientales; además siempre se realizará la estadística necesaria para la validación de cada prueba y de los resultados obtenidos.

Para el desempeño térmico se tendrá más interés en el mes de enero el cual registra las temperaturas más bajas del año, y el mes de mayo con temperaturas más altas. En el desempeño hídrico la atención estará en la temporada de lluvias que corresponde a los meses de junio, julio, agosto y septiembre; y la época de sequía en enero, febrero, noviembre y diciembre, observando la cantidad y calidad del líquido retenido y drenado en los sustratos.

El desarrollo de la cobertura vegetal será monitoreado en cada temporada del año, registrando tiempos, dificultad o facilidad de crecimiento de acuerdo a las condiciones climáticas y tipo de sustrato.

4.- Conclusiones

La investigación se encuentra en la etapa de montaje del modelo experimental factorial en la cubierta del edificio (fig.8), en cuanto a las pruebas de caracterización de los sustratos se han obtenido pruebas preliminares.



Fig. 8 “Primer montaje del modelo experimental”. Fuente: García, I. México, 2014

Durante el proceso y término de la investigación se obtendrán datos de los sustratos que permitirán conocer mejor su funcionamiento dentro de los sistemas de naturación, logrando una mejor selección y uso de materiales que los integran, obteniendo mayor calidad y eficiencia del sustrato en el sistema, lo que permitirá

predecir de mejor forma el desempeño térmico e hídrico en los sistemas de naturación, creando estrategias y mayores posibilidades de diseño en cuanto a recursos, procedimientos constructivos y diseño bioclimático, pero sobre todo respaldando a la naturación como herramienta básica en el trabajo arquitectónico.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado bajo el auspicio del proyecto PAPIME PE401613 “Consolidación del laboratorio para la conservación del patrimonio cultural y natural”, en la línea de investigación “Sustentabilidad para la Unidad Mixta de Posgrado”.

REFERENCIAS

- [1] García I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*, Tesis de Maestría, 1-2. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
- [2] García I. (2010). *Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones*, XXXIV Semana Nacional de Energía Solar, Asociación Nacional de Energía Solar A.C., SNES2010-ABC-022, Guanajuato, México; Minke G. (2004) *Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos*. Fin de siglo, Montevideo, Uruguay.
- [3] García I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*, Tesis de Maestría, 31-34. UNAM, México D.F.
- [4] Palomo E. (1998) *Analysis of the cooling potential of green roofs in buldings*. Energy and buildings; Niachou A. et al. (200). *Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance*. Energy and Building, Vol. 33, 719-729; Briz J. (2004) *Naturación Urbana: cubiertas ecológicas y mejora medio ambiental*. Grupo Mundi-Prensa. Madrid, España; Koehler M. (2004) *Energetic effects of green roofs to the urban climate near to the ground and to the building surfaces*. 72-77. International Green Roof Congress. Nürtingen; Lazzarin R. et al. (2005) *Experimental measurements and numerical modelling of a green roof*. Elsevier. Vicenza, Italia; Machado M. et al. (2003) *El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica*. 65-75. Ambiente Construido; Vecchia F. et al. (2006) *Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales*. Vol. 22 n.2. Tecnología y Construcción.
- [5] García I. (2011). *La vegetación como sistema térmico en la naturación extensiva de cubiertas*, Tesis de Maestría, 89-103. UNAM, México D.F.
- [6] Tanner y Scholz-Barth (2004), *Green Roofs. Energy Efficiency and Renewable Energy*. Department of Energy, EUA.
- [7] Minke, G. (2014). *Techos verdes y jardines verticales, mejoramiento del ámbito urbano y ahorro de energía*. 17 *Convención científica de ingeniería y arquitectura*, La Habana, Cuba.
- [8] *Norma Ambiental para el Distrito Federal Proy-Nadf-013-Rnat-2007* (2008) Gaceta Oficial del Distrito Federal núm. 491, México.
- [9] Palomino, B. (2012). *Aplicaciones paisajísticas del género Sedum para el aligeramiento de sustratos sobre azoteas verdes*. Tesis de licenciatura. UNAM, México D.F.