

TECHO verde Y SU ESPESOR DE SUSTRATO EN Zonas desérticas DEL NOROESTE DE MEXICO

*Green roof and substrate thickness in
desert zones of Northwest Mexico*

MIGUEL ISAAC SAHAGUN-VALENZUELA*,
ALONSO HERNÁNDEZ-GUITRON**,
PABLO ELÍAS-LÓPEZ***,
MANUEL PORTILLO-RODRÍGUEZ****

RESUMEN. Un techo verde (tv) es un elemento de naturación artificial en el cual se puede desarrollar vegetación dependiendo del espesor de sustrato que se utilice sobre el techo de la edificación. En las zonas desérticas del Noroeste de México, las condiciones climáticas hacen necesario un énfasis en la integración de elementos que responden a problemas con la ganancia de calor. Dado que un gran porcentaje de la ganancia de calor es generada por la radiación solar presente en verano, el tv aumenta la resistencia térmica de la edificación implementando una capa de sustrato, que por medio de su masa térmica puede ayudar a disminuir las temperaturas. Para evaluar el desempeño térmico de un tv, con las condiciones climáticas de la zona metropolitana de Tijuana, se realiza la simulación del mismo. De acuerdo con la norma NADF-013-RNAT-2007, publicada el 24 de diciembre de 2008, se analiza el tv con diversos espesores de sustrato y se establecen periodos de medición, según las especificaciones en normas ASTM C-1046-95, ASTM C1155-95. Los periodos de medición serán dos de un mes, uno en julio y otro en enero. Los espesores se simulan con el programa Ener-Habitat.

En los resultados se observa cómo en un techo de concreto las temperaturas son superiores hasta 20 °C con respecto a la temperatura ambiente y 12 °C sobre un tv con espesor de 5 cm, por lo que es viable utilizar tv en la zona desértica del Noroeste de México mejorando los resultados entre mayor sea el espesor de su sustrato.

Palabras clave: aislante térmico, clima seco, simulación térmica, sustrato, techo verde.

ABSTRACT. A green roof (GR) is an element of artificial naturation in which vegetation can be developed depending on the thickness of substrate that is used on the roof of the building. In the desert areas of northwestern Mexico, climatic conditions require an emphasis on the integration of elements that respond to problems with heat gain. Since a large percentage of the heat gain is generated by the solar radiation present in summer, the GR increases the thermal resistance of the building by implementing a layer of substrate, which by its thermal mass can help to lower the temperatures. To evaluate the thermal performance of a GR with the climatic conditions of the Tijuana Metropolitan Area, the simulation was performed. According to the NADF-013-RNAT-2007 standard published on december 24, 2008, GR with different substrate thicknesses will be analyzed. Measurement periods were established according to the specifications in standards ASTM C-1046-95, ASTM C1155-95. The measurement periods will be two months, one in july and one in january. The thicknesses were simulated with the Ener-Habitat program. In the results it can be seen how in a concrete roof the temperatures are higher up to 20 °C with respect to the ambient temperature and 12 °C on a green roof with thickness of 05 cm, reason why it is viable to use green ceiling in the desert zone of the northwest of Mexico improving the results the greater the thickness of its substrate.

Key words: thermal insulation, dry weather, thermal simulation, substratum, green roof.



El techo verde (tv) es una técnica en la cual el sustrato puede desarrollar vegetación, éste consiste en un sistema compuesto por diversas capas que son: impermeabilización, barrera anti-raíz, drenaje, sustrato, vegetación y drenaje pluvial, capa filtrante y membrana geo-textil.

Por la cantidad de vegetación de los tv tienen efectos positivos con un enfoque multi-escala, en la escala urbana y en la escala de edificio, en investigaciones previas se muestra cómo se han encontrado diferencias de temperatura de 2 °C de promedio, entre las áreas con mayor densidad vegetal y las áreas con una menor cantidad de vegetación, dicha diferencia de temperatura es atribuible a la sustitución de la vegetación por los materiales habituales de construcción que utiliza el hombre (Susca T. *et al.*, 2011). Es importante mencionar que otras estrategias para las edificaciones, así como aquellas que refieren al entorno urbano, como, un trazo vial considerando el asoleamiento y vientos, la adaptación a la topografía, la incorporación de vegetación en áreas verdes, por mencionar, son elementos que se suman y contribuyen a disminuir la temperatura interior.

En una micro-escala el efecto de albedo tiene un papel crucial en la ganancia de calor interna y de la edificación, así como en la contribución al efecto de isla de calor urbano, la actividad biológica de las plantas ayuda a reducir el albedo, ya que no reflejan la misma cantidad de radiación del total de la que incide en el techo en comparación con un techo con un material de construcción común (Susca T. *et al.*, 2011). Una mejora en la micro-escala puede reflejar un gran ahorro considerando acciones en grupos o conjuntos habitacionales.

Desde hace años en Europa se realizan tv para cubrir las superficies expuestas a la radiación solar, los cuales son utilizados como estrategias para la reducción de problemas de ganancia de calor en las edificaciones, así como protección en la ciudad para disminuir el efecto de isla de calor y minimizar el cambio climático.

Fecha de recibido: **1 septiembre 2016**
Fecha de aceptado: **8 noviembre 2016**

*Universidad Autónoma de Baja California, México
isahagun@uabc.edu.mx

**Universidad Autónoma de Baja California, México
alonso_hg@uabc.edu.mx

***Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco, México
pabloelias10@gmail.com

****Universidad Autónoma Metropolitana,
Unidad Azcapotzalco, México
manierismo@gmail.com

En zonas con clima seco se requiere de sistemas de enfriamiento pasivo en las edificaciones, para así tener temperaturas que se mantengan dentro del área de confort térmico, con un consumo mínimo de energía eléctrica por climatización artificial (Givoni, 1998).

El tv tiene la capacidad de almacenar cierta cantidad de agua de lluvia, ésta se acumula en los desagües pluviales, por lo que disminuye el agua que sale a la vía pública y evita que el desagüe se sature rápidamente al momento de comenzar las lluvias, también atrae insectos y animales, los cuales fueron desplazados al momento de la edificación generando un micro clima.

El tv puede utilizarse en un clima caliente y helado. En las zonas con clima helado mantiene los espacios con temperaturas templadas al guardar el calor que se genera en la edificación, pues disminuye el flujo de calor al exterior de la construcción; en climas calientes ayuda a mantener temperaturas templadas, ya que provoca el efecto contrario que en climas helados, no dejando pasar el calor generado por la ganancia de calor, por el asoleamiento de la superficie horizontal, la cual es la que mayor temperatura gana en verano. El tv ayuda a reducir las diferencias de las temperaturas máximas y mínimas de un modo natural (Minke, 2004).

En comparación con un techo convencional, el tv necesita una cantidad de inversión extra, pero por su ayuda a la disminución del consumo energético, y el impacto al medio ambiente por la reducción del uso de acondicionamiento climático artificial, son la opción preferente para la edificación de un nuevo edificio (Kosareo y Ries, 2006).

La colocación de un tv es sencilla y no se necesita de mano de obra especializada para funcionar apropiadamente, exceptuando por la impermeabilización, las demás capas son de instalación sencilla. El tv puede provocar condiciones de confort térmico en el espacio interior

al que se encuentra, por la radiación que evita recibir del exterior.

CLIMA Y ESPECIES VEGETALES

El lugar de la simulación es dentro del área metropolitana de Tijuana en la zona de la Unidad de Valle de las Palmas, cuyas coordenadas son 32° 25' 59" N, 116° 40' 31" O. El área metropolitana de Tijuana incluye los municipios de Tijuana, Tecate y Playas de Rosarito, la zona tiene colindancia al este con el municipio de Mexicali, al oeste con el océano pacífico, al sur con el municipio de Ensenada y al norte con el condado de San Diego y al noreste con el Condado de Imperial (Gobierno del Estado de Baja California, 2015).

CLIMAS SECOS CON LLUVIAS EN INVIERNO

Secos templados. Se localizan al noroeste de la península de Baja California, son menos extremos que en la región este del territorio peninsular, pues son climas frescos con una fuerte influencia marítima. La máxima precipitación se presenta en diciembre y con temperaturas templadas la mayor parte del año, y lluvias en invierno y verano cálido. La precipitación total anual se acerca a los 100 mm, con una máxima, durante el invierno, superior al 36% del promedio total anual. El mes más lluvioso es diciembre, mientras los más secos son mayo, junio y julio.

En las zonas montañosas y las mesetas, las temperaturas son más extremas, presentándose la máxima media mensual en julio y agosto –de 25 a 26 °C– y la mínima, de 6 a 7 °C, en enero. Las precipitaciones más altas son en diciembre y enero, y en verano los meses de julio y agosto son los más secos (Coordinación Estatal de Protección Civil Baja California, 2016).

VEGETACIÓN

Flora Tijuana. El municipio de Tijuana no cuenta con una flora sobresaliente o excepcional, se puede decir que es un tanto limitada en comparación con otros municipios. El tipo de vegetación predominante es el matorral que se localiza en lomeríos, mesas, arroyos y bajíos de naturaleza temporal, los cuales se mantienen secos en la mayor parte del año, excepto en invierno que es época de lluvias. También existen

distintas clases de árboles de más de 5 m, predominando el sauce, romerillo, álamo, chamizo amargo y saúco. No cuenta con reservas ecológicas, pero sí con áreas verdes que son protegidas para actividades recreativas naturales, éstas se ubican principalmente en los parques de la ciudad, como el Parque Teniente Guerrero, uno de los más antiguos, Parque de la Amistad, Parque Morelos y Parque Ecológico del colegio de la frontera norte (Gobierno del Estado de Baja California, 2015).

Flora Tecate. Prevalece la vegetación matorral, tales como la esclero-aciculifolio, representada por árboles y arbustos como las especies de encinillos, manzanita, pino y chamizo colorado. También se tiene el matorral parvifolio subinermes en la parte noroeste del municipio, prevaleciendo el ocotillo, choyas, gobernadora, palo fierro, mezcal, palma, el ciprés Tecate, actualmente en peligro de extinción. **Flora Playas de Rosarito.** La vegetación que predomina está compuesta por matorrales, romerillo, álamo, chamizo amargo, sauce, aliso, encino, agave, cacto de barril y aterciopelado, junco, chaparroso, trompo, mangle dulce, jojoba, cachal y tule (Gobierno del Estado de Baja California, 2015).

Radiación solar. Las zonas expuestas a los rayos directos del sol son las que tienen una mayor incidencia en las ganancias de temperatura, las cubiertas por tener una exhibición directa a la radiación solar son una de las caras externas que tienen una mayor ganancia de temperatura. Esto ocurre sin importar la orientación del o la vivienda debido a la horizontalidad de la superficie de los techos, lo cual provoca que este elemento sea uno de los puntos más sensibles con respecto a los muros en la transferencia de calor hacia el interior de las edificaciones. Se puede apreciar cómo la radiación solar incide en la cubierta de forma directa y también la energía difusa reflejada por las nubes y el cielo afectan el techo, al llegar la energía al techo una parte es detenida por las plantas, otra pasa en forma de calor al techo, otra parte se pierde por el paso del viento entre las plantas, otra es absorbida por la evaporación del agua y la que pasa es retrasada por la tierra y el agua en el techo, una vez que la energía logra cruzar la tierra, el calor debe atravesar por una capa aislante y después el techo de concreto (ver figura 1). Solo un porcentaje de la totalidad de la energía recibida por la cara exhibida al sol será el que atraviese las capas del tv, una vez dentro la energía en forma de calor será transmitida por radiación desde la superficie interior de la cubierta y por convección se creará un flujo en la habitación inferior al techo (Kings, 2006).

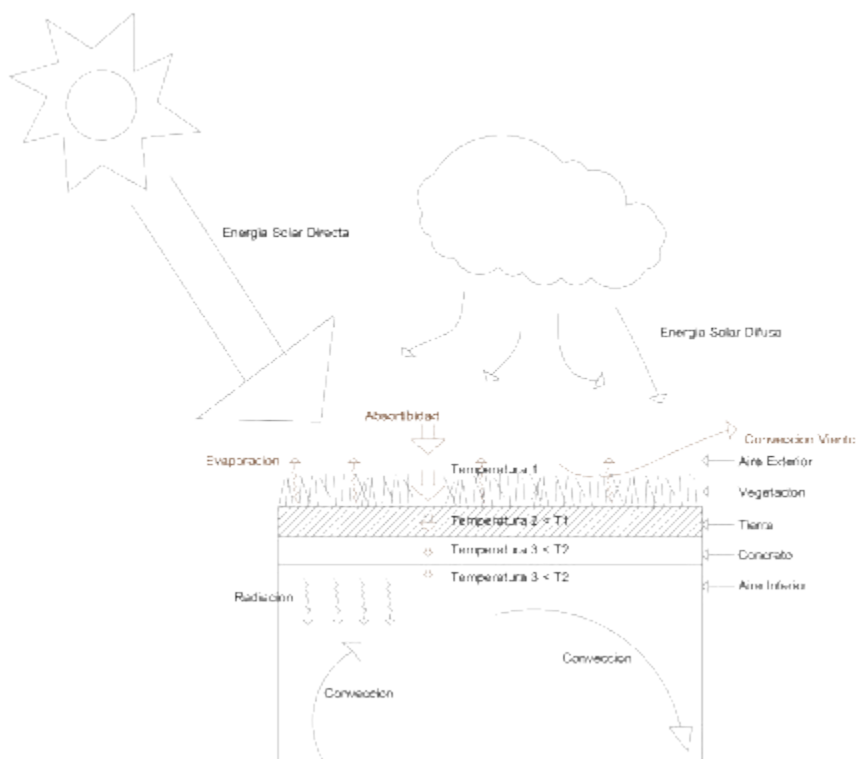
En época de frío el tv funciona de manera contraria que en época cálida, el calor de la habitación es resguardado por la masa del tv, por lo que la energía debe atravesar varias capas para salir del espacio interior, cuando hay noches con el cielo descubierto el calor no escapa con tanta facilidad por la rugosidad de las plantas.

TECHO VERDE

Según Renato *et al.* (2005), el tv está constituido por varias capas, las cuales tienen funciones particulares que sustituyen la función de un suelo natural. En la cubierta común se le colocan varias capas como: un impermeabilizante, una barrera anti-raíz, una capa, que guarda el agua para que la planta se alimente de ella, un filtro que no permite que el sustrato se erosione y deje pasar el agua (ver figura 2). El sustrato que se utiliza en un tv debe poseer un peso volumétrico bajo (entre 800 y 900 kg/m³) y debe de estar tratado con la adición de minerales y material orgánico. El grosor puede variar para un tv extensivo entre 05 a 30cm.

Se presentó en el 2008 una norma de carácter sustentable, la cual está dirigida a la plantación de los techos en la CDMX, la norma NADF-013-RNAT-2007 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal con la intención de disminuir la falta de espacios verdes.

Techo verde intensivo (tvi). Contienen plantación de especies vegetales de mayor dimensión, como pueden ser árboles de gran altura y arbustos que se encuentran normalmente en terreno franco. Estas plantas no se utilizan comúnmente sobre cubiertas inclinadas, tomando en cuenta el aumento de peso por el sustrato y las plantas de grandes debe considerarse el aumento de su estructura. Es indispensable un espesor de superficie de más de 30 cm; también deben ser suministradas habitualmente con agua y nutrimentos. La naturación



La **COLOCACIÓN** de un **TV** es **SENCILLA**

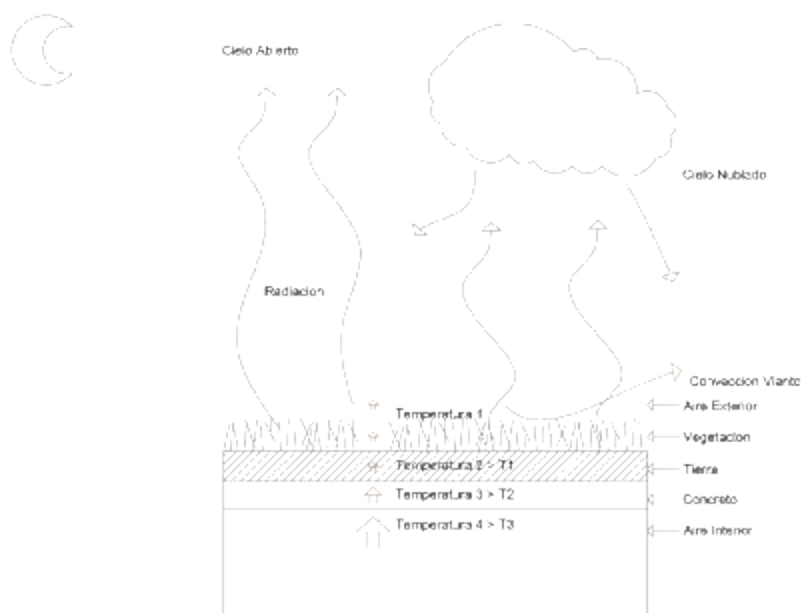


FIGURA 1. TECHO VERDE (DÍA) Y TECHO VERDE (NOCHE).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

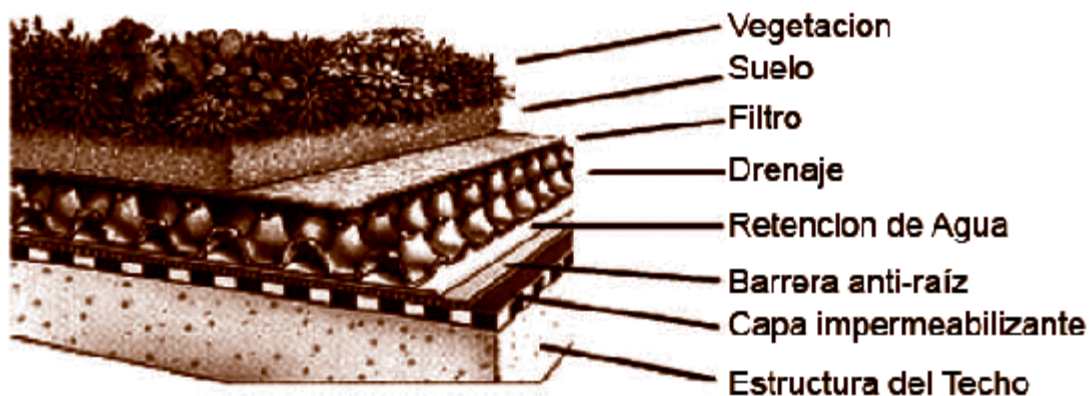


FIGURA 2. LAS DIFERENTES CAPAS DE UN TECHO VERDE.

FUENTE: RENATO, 2005.

intensiva es semejante a una zona ajardinada a nivel de piso (Renato *et al.*, 2005).

Techo verde extensivo (TVE). Es la naturación que crece con un espesor de sustrato desde 05 cm hasta 15 cm con poca agua y nutrientes, puede ser formada por distintos tipos de plantas cubre suelo como lo es el zacate. El peso de un TVE es entre 800 y 900 kg/m³. Las plantas como hierbas silvestres, zacate con diferentes composiciones y musgos sobreviven con poco mantenimiento y resisten las épocas de sequía y las heladas. Es por esta razón que la vegetación que se recomienda utilizar en TV es de tipo silvestre, ya que éstas cuentan con una buena capacidad de regeneración (Renato *et al.*, 2005).

Estructura del techo. Son los elementos estructurales de la cubierta, éstos incluyen el elemento horizontal que cargará directamente las partes del tv, así como las columnas y trabes que se necesitan para cargar el tv. Se debe tener en cuenta el peso extra de todos los elementos del tv al momento de calcular la estructura (Minke, 2004).

Capa impermeabilizante. Se aplica una membrana de poliuretano líquido en frío. La ventaja de utilizar este tipo de material, se encuentra en la posibilidad de que la membrana no quede con uniones, ya que queda 100% adherida a la losa, conformando una unidad monolítica (Maldonado, 2008).

Barrera anti-raíz. El sistema debe contar con una capa que detenga el crecimiento de la raíz de otra forma ésta puede llegar a la estructura y dañarla (Maldonado, 2008).

Drenaje. Está hecho con una plancha de poliestireno expandido con algunas ondulaciones en la cuales cabe el agua que la vegetación necesita para sobrevivir, en la parte de arriba esta capa incluye un filtro que deja pasar el agua y detiene la tierra. El agua que no cabe cae por las perforaciones al drenaje, por donde el agua sale hasta llegar a una canaleta, desde donde se puede redirigir el exceso de agua a una cisterna o lugar de almacenaje para su posterior uso (Maldonado, 2008).

Sustrato. En el área metropolitana de Tijuana la vegetación de tipo desértico y el clima seco provocan que la tierra necesaria sea para plantas de tipo desértico o semidesértico, por lo que las partes del sustrato serán las siguientes: una parte de suelo franco, una parte de abono orgánico o estiércol, y una parte de arena o tezontle.

Vegetación. Tomando en cuenta el tipo de uso que se le desea dar al tv se deben considerar algunos factores para la elección de las plantas que se desean usar en la superficie tales como: cuál es su comportamiento con respecto al clima, cuál es lo largo de la raíz una vez que la planta crezca, en qué época la planta crece más, y cuándo se desea que la planta esté verde o marchita (Minke, 2004).

NORMATIVIDAD

Para el diseño del quasi-experimento se toman en cuenta varias normas que den validez al método.

NADF-013-RNAT-2007. Norma ambiental para el Distrito Federal. La principal norma para la construcción y naturación de tv en México se encuentra en el Distrito Federal la norma NADF-013-RNAT-2007 que habla de los criterios a seguir para la instalación de un sistema de tv, especificando edificaciones existentes, así como construcciones nuevas.

ASTMC - 168 - 97. Terminología estándar relativa a los materiales aislantes térmicos.

ASTMC-1046-95. Medición *in situ* del flujo de calor y de la temperatura en los componentes de envolvente del edificio.

ASTMC 1155 - 95. Determinación de la resistencia térmica de los componentes de envolvente del edificio a partir de los datos *situ*.

MÉTODO

En esta sección se describen: diseño de la investigación, objetivo, el módulo de prueba, la simulación, los parámetros para el monitoreo y el análisis estadístico para la evaluación de los resultados.

Tipología del experimento. Se simularan algunos grosores de suelo con los grosores que se encuentran dentro de los llamados TVE, la primer cubierta tiene un grosor de 10 cm de concreto, arriba de él un grosor de suelo de 5 cm, la segunda cubierta será de un grosor de 10 cm de concreto más uno de 10 cm de suelo, la tercer cubierta será una losa de concreto de 10 cm más un grosor de suelo de 15 cm y en la cuarta cubierta se simulará la que predomina en el estado, una losa de concreto de 10 cm (ver tabla 1 y 2).

Se consideraron dos periodos para la simulación con una duración de un mes para cada uno, el primero fue de verano donde se simularon temperaturas calientes, y el segundo fue de invierno donde se simularon temperaturas heladas, serán registradas las temperaturas de la zona inferior al tv.

RESULTADOS

En los cálculos simulados de julio las temperaturas altas se mantuvieron por debajo en comparación con la temperatura externa, pero en las temperaturas menores, éstas se conservaron mayores, adicionalmente se puede apreciar que entre los tres grosores el tv da la estabilización a las temperaturas de la zona del tv, también se observa que en el techo de concreto se elevan las temperaturas en 20 °C en comparación con la temperatura externa (gráfica 1, julio).

En los cálculos simulados de enero las temperaturas altas de los tres grosores de sustrato quedaron por debajo de la temperatura del medio ambiente, así como por arriba de las mínimas del medio ambiente, el techo de concreto se mantiene muy similar de las temperaturas altas y bajas de la temperatura del medio ambiente. En comparación con el periodo cálido se mantienen la misma tendencia de que con el sustrato mayor se tiende a estabilizar las temperaturas interiores (gráfica 1, enero).

CONCLUSIONES

Se puede recurrir a la utilización de un tv en climas desérticos y semidesérticos por la masa que aporta a la edificación, lo que provoca un retardo térmico y por ende una reducción en la trasferencia de calor hacia el espacio interior. En el espesor de máximo de un tv calculado se puede ver que tiene un compor-

Características de los materiales utilizados			
	Densidad	Calor específico	Conductividad
Tierra	1600 kg/m³	920J/kg°C	0.95 W/m°C
Concreto	2400 kg/m³	1050J/kg°C	1.60 W/m°C

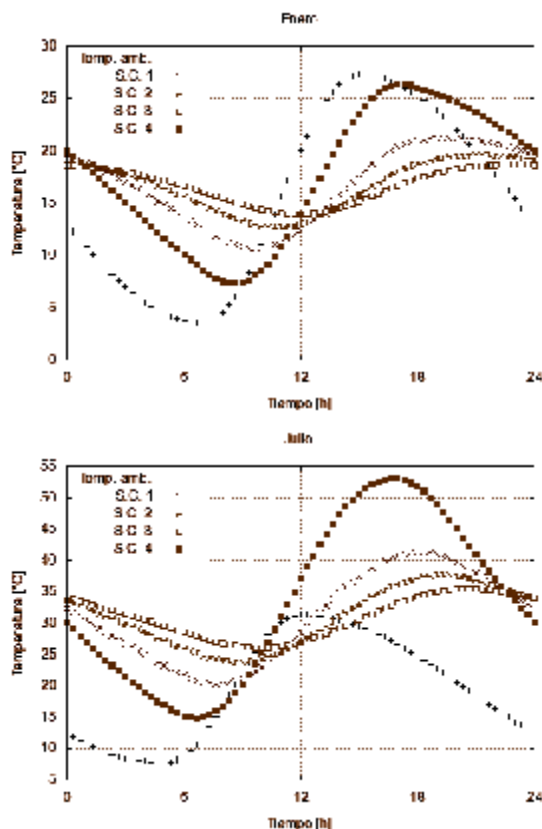
Tabla 1. MATERIALES UTILIZADOS.

FUENTE: ENER-HABITAT, 2014.

Nombre	Descripción
S.C.1	Concreto 10 cm + Suelo 05 cm
S.C.2	Concreto 10 cm + Suelo 10 cm
S.C.3	Concreto 10 cm + Suelo 15 cm
S.C.4	Concreto 10 cm

Tabla 2. ABREVIACIONES DE SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



GRÁFICA 1. TEMPERATURAS DE VERANO E INVIERNO.

FUENTE: ENER-HABITAT, 2014.

tamiento térmico con mayor eficacia teniendo una variación de temperaturas en la zona del tv menor a las otras opciones de grosor, tanto en el periodo caliente como en el periodo helado.

Es necesario continuar con el estudio y considerar aquellos factores que no entraron en los alcances de la investigación, que completen el trabajo realizado, que apunten a contar con estrategias en la edificación y en el entorno urbano que consideren lograr una mayor eficiencia para logra temperaturas en zona de confort.

Así como realizar un análisis de recuperación económica en el cual se deben definir desde el inicio cuál será la finalidad del tv elegido, ya que un tv representa gastos adicionales como son los riegos, la fertilización la fumigación y la podrá de cada uno de sus elementos vivos, además sin dejar aparte el extra que representa la estructura necesaria para soportar el peso adicional.

FUENTES DE CONSULTA

ASTM (American Society for Testing and Materials) (2005), "C1046-95 Standard Practice for In-Situ Measurement of Heat Flux and Temperature on Building Envelope Components", C1153-97 Standard Practice for Location of Wet Insulation in Roofing Systems Using Infrared Imaging Estados Unidos.

Coordinación Estatal de Protección Civil (2016), *Fenómenos Hidrometeorológicos, Guía sobre riesgos para el estado de B.C. Mexicali*, B.C., México.

Ener-Habitat (2014), *Simulador Ener-Habitat*, [En línea] <http://www.enerhabitat.unam.mx/>, México.

Gaceta Oficial del Distrito Federal (2008), "Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2007, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturaleza en el Distrito Federal", México.

Givoni, B. (1998), *Climate Considerations in Building and Urban Design*, Van nostrandReinhold.

Gobierno del Estado de Baja California (2015), *Nuestro Estado. Mexicali Baja California México*, [En línea] http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/nuestro_estado/municipios.jsp, consultado el 15 de agosto de 2015.

Kings, M. (2006), *The Earth Observer*, vol. 18, p. 38, diciembre, Estados Unidos.

Kosareo, L. Y Ries, R. (2006), "Comparative environmental life cycle assessment of green roofs", *Energy and Environment*, Estados Unidos.

Maldonado, D. (2008), "Techos verdes Esperanza", *Revista BIT*, vol. 61, julio, Chile, pp. 48-53.

Minke, G. (2000), *Techos Verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos*, Editorial Fin de Siglo, Uruguay.

Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., Mihalakakou, G. (2001), "Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance", *Energy and Buildings*, vol. 33, núm. 7, Estados Unidos.

Renato, M., Lazzarin, F., Castellotti, F. (2005), "Experimental measurements and numerical modeling of a green roof", *Energy and Buildings*, vol. 37, núm. 12, Estados Unidos.

Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R. (2011), "Positive effects of vegetation: Urban heat island and Green roofs", *Environmental Pollution*, vol. 159, núm. 8-9, Estados Unidos.

Sailor, D.J. (2008), "A green roof model for building energy simulation programs", *Energy and Buildings*, vol. 40, Estados Unidos.