



## **EVALUACION DEL USO DE TECHOS VERDES EN CLIMA TEMPLADO: CASO ECATEPEC DE MORELOS, ESTADO DE MEXICO, MEXICO**

**Agustín Torres Rodríguez y David Morillón Gálvez**

Postgrado de Ingeniería en Energía e Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Distrito Federal, 04510 México

Tel. 0155-56233688 ext. 8842 email: [agustin71tr@yahoo.com.mx](mailto:agustin71tr@yahoo.com.mx), [dmg@pumas.iingen.unam.mx](mailto:dmg@pumas.iingen.unam.mx)

**RESUMEN:** Se presenta el potencial térmico a estimar del techo verde, en clima templado, que esta ubicado en el municipio de Ecatepec de Morelos en el Estado de México. Primero se presentarán los datos del clima en el municipio y los antecedentes de los primeros techos verdes que se usan en México. Además los criterios de diseño considerados para el uso de los techos verdes en el caso en estudio. Así como el balance térmico, considerando la radiación solar directa y difusa para calcular las ganancias de calor por conducción, convección y radiación del techo verde del edificio. Se seleccionó de una gama de vegetación una planta con nombre común "Basutoland" por tener las condiciones biológicas más adaptables al clima que predomina en el sitio en estudio. Finalmente se estimo el beneficio térmico que representa este tipo de sistema pasivo en el edificio para dejar de utilizar sistemas de aire acondicionado comerciales.

**Palabras clave:** techo verde, sistema pasivo, clima templado, climatización.

### **INTRODUCCION**

Debido al acelerado crecimiento de los asentamientos urbanos y la transformación de hermosos paisajes verdes en vistas grises y negras se empieza a promover una propuesta que, aunque ya se había intentado aplicar con anterioridad hoy en día va tomando fuerza. A partir de 1999 se inicio en México y con una inversión inicial de dos millones de pesos mexicanos una serie de acciones encaminadas a implementar en edificios de escuelas de educación básica e instituciones públicas los primeros techos verdes. En la actualidad sean sumado a esta propuesta instituciones y empresas privadas así como viviendas y edificios habitacionales. Entre los ejemplos más destacados se pueden mencionar las terrazas del edificio de Gobierno en la Plaza de la Constitución, el Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norteamérica, el jardín Botánico de la UNAM, la escuela primaria Xochimilco y el techo del Banco HSBC en la avenida Reforma. Actualmente la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México cuenta con un programa de asesoría para implementar techos verdes en diferentes zonas de la ciudad, pero hace falta más investigación y desarrollo en este tema de ahí que surge la necesidad de empezar a realizar evaluaciones del comportamiento térmico de los techos, para conocer la realidad que envuelve a este tipo de sistemas pasivos, para el caso mexicano.

### **DATOS DEL CLIMA DEL MUNICIPIO DE ECATEPEC DE MORELOS.**

El municipio de Ecatepec de Morelos se encuentra localizado en el Estado de México, en las coordenadas geográficas: latitud 19.65° N, longitud 99.12°, una altura de 2500 msnm. El clima, según la clasificación climática de Köppen, es templado. Dentro de los valores, encontramos que las características particulares del clima para el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México, son las siguientes:

#### **Temperatura.**

La temperatura media anual es 14.8°C. Su temperatura promedio máxima en verano es de 23.93°C, y la promedio mínima en invierno es de 1°C. Las temperaturas mínimas se presentan a lo largo del año alrededor de las 7:00 a.m y las máximas a las 13:00 p.m. La temperatura oscila desde 0.5°C en invierno hasta los 27°C en abril.

#### **Humedad relativa media.**

Los porcentajes de humedad relativa se calcularon utilizando los datos de temperatura máxima, media y mínima proporcionados por la estación metereológica de Xalostoc, localizada en el Municipio de Ecatepec de Morelos y el programa del Dr. Adalberto Tejeda. Los resultados obtenidos fueron de 55% de humedad media mensual. Para la época de verano la humedad media mensual es de 60% y para la época de invierno de 57%. En julio (época de lluvias), existe una humedad media de 61% que varía entre una máxima de 81% y una mínima promedio de 39%, mientras que en el mes más seco, abril, la humedad media es de 50%, con una mínima promedio de 26% y una máxima promedio de 73%.

Radiación solar.

Los valores de la radiación solar fueron tomados en MJ/m<sup>2</sup> de los mapas de irradiación global solar en la República Mexicana del Dr. Rafael Almanza (Almanza et al., 1980) y convertidos en W/m<sup>2</sup> para el estudio de caso. La radiación varía de un total mensual mínimo de 3.13 kWh/m<sup>2</sup> día, en diciembre, a un máximo de 6.35 kWh/m<sup>2</sup> día, en junio. La mayor radiación se recibe entre las 11:00 a.m y las 13:00 p.m, en mayo y junio, y alcanza un valor máximo de 950 W/m<sup>2</sup> al medio día.

La menor radiación se recibe a las 6:00 a.m y 18:00 p.m, y es la mínima durante el invierno, cuando a las 6:00 a.m no se recibe radiación (0 W/m<sup>2</sup>).

Viento

El viento registro una velocidad mínima de 0.07 m/s para las 6:00 a.m del 24 de mayo y una velocidad máxima de 5.43 m/s para las 18:00 p.m del mismo día. La velocidad promedio mensual es de 2.7 m/s con una dirección predominante al noroeste.

## ANTECEDENTES RECIENTES

En 2005 se crea la Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas, A.C (AMENA) es una asociación civil que tiene como objetivo investigar y capacitar a profesionistas interesados en estos temas sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos que representa la Naturación de azoteas. AMENA colabora estrechamente con instituciones de educación superior como la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) en la investigación de diferentes aspectos de la Naturación en Azoteas.

Otro antecedente que es importante mencionar es el caso de Alcántara y Fajardo del postgrado en arquitectura de la Universidad de Colima, que presentaron un estudio de tipo experimental que llevó por título "Vegetación en cubiertas como sistema pasivo de enfriamiento en el cálido-subhúmedo: caso techo-pasto". En ese trabajo los autores muestran el desempeño alcanzado por un sistema techo-pasto, en la temporada semitemplada-seca (diciembre, enero, febrero y marzo), para reducir la ganancia de energía térmica que pasa a través de las cubiertas en Coquimatlán, sitio ubicado cerca de la Ciudad de Colima, el cual tiene clima cálido subhúmedo.

## TIPOS DE TECHOS VERDES

Los techos verdes se clasifican en simples e intensivos. Se le llaman techos verdes simples a aquellos que tienen un material vegetal simple, como césped, musgo, flores de pradera, etc; especies tolerantes a los climas secos, y que necesitan muy poca o ninguna irrigación, fertilización o mantenimiento. El tipo de vegetación adecuada para este tipo de techos es aquella que proviene de climas secos o semi-secos, son plantas que han desarrollado mecanismos especiales para adaptarse a esas condiciones (órganos para almacenamiento de agua, hojas angostas, espinas, etc). El medio de crecimiento para este tipo de techos es de poco espesor, y varía entre cinco y ocho centímetros, lo suficiente para mantener este tipo de vegetación. En cuanto a las cargas estructurales, el peso de estos techos en estado de saturación es bastante similar al de los techos convencionales. Los techos verdes simples se pueden diseñar y construir con pendientes de hasta 33%. Estos techos no son transitables, y son los más económicos.

Se denominan techos verdes intensivos a aquellos cuyo material vegetal esta compuesto por arbustos, plantas florales y hasta pequeños árboles; elementos vegetales más desarrollados que en el caso anterior. Estos techos son similares a un jardín, y generalmente son transitables. Sus diseños pueden ser complejos, e incluir caminos, terrazas, fuentes de agua, y otros elementos típicos de un jardín. La composición y profundidad del medio de crecimiento dependerá del tipo específico de vegetación, pero por lo general nunca es menor de 15 cm. En la mayoría de los casos este tipo de techos requieren de un sistema de irrigación, y una fertilización especial, así como también de un cuidadoso mantenimiento; y dependiendo del tipo de plantas hasta pueden requerir de un sistema adicional de recolección de agua. Generalmente este tipo de techos son planos, aunque se pueden diseñar con una pequeña pendiente de hasta 3%. Lógicamente los techos verdes intensivos tienen un costo mayor que los simples.

## CRITERIOS DE DISEÑO

Los criterios de diseño a considerar para los techos verdes son:

- a) La capacidad de soporte de la estructura.
- b) La membrana filtro para el agua
- c) El sistema de drenaje
- d) El sustrato
- e) El tipo de plantas
- f) El sistema de riego y almacenaje del agua.

De acuerdo con los anteriores factores la carga que va a soportar el techo se debe considerar, relacionada con el diseño de la estructura del mismo techo y de todo el edificio en general. En la tabla 1 se presentan diferentes tipos de sustratos (N Dimes et al., 1997) y su peso tanto secos como húmedos en kg/m<sup>3</sup>.

SUSTRATO	PESO SECO (kg/m <sup>3</sup> )	PESO HÚMEDO (kg/m <sup>3</sup> )
Tierra negra	1300	1600
Turba	154,28	165,53
Humus	568	1330
Agua		1013
Laja	122,00 k/m <sup>2</sup>	
Perlita	104,46	520,71
Vermiculita	100,45	120,53
Arena	1446,42	1928,56
Compost (variable)	240	550

Tabla 1. Tabla de pesos de diferentes sustratos.

Debido a que la capa de vegetación más el sustrato absorbe el calor, ésta actúa en el techo como una capa adicional de aislamiento, manteniendo al edificio más cálido en invierno y más fresco en verano y, además, disminuyen los costos de calentamiento y enfriamiento. Según los estudios publicados por la licenciada Cecilia Nocera en su artículo “Jardines sobre techos”; un colchón de aire caliente retenido por techos verdes que tienen entre 20 y 40 cm de altura hace, que el edificio pueda retener hasta un 50% del calor que se pierde por convección causado por el aire en movimiento (viento) a lo largo y sobre la superficie del techo. Nocera menciona que dependiendo de como se diseñe el techo verde, el punto de rocío puede mantenerse dentro del medio de crecimiento, lo cual eliminaría la necesidad de una barrera de vapor y, desde el punto de vista de la vegetación, se evitaría que sufra condiciones extremas durante el invierno que podrían lastimar sus raíces. Además, se debe favorecer que el agua o humedad al congelarse, no obstruya los drenajes o rompa la membrana aislante. Por otro lado, la capa de plantación debe proteger a la membrana, de los rayos ultravioletas y de daños producidos por el tránsito de las personas.

### FLUJOS QUE INFLUYEN EN LAS GANANCIAS DE ENERGÍA TÉRMICA EN LOS TECHOS VERDES.

Los flujos que deben considerarse para analizar las ganancias de energía térmica en los techos verdes son: la conducción, la convección, la radiación solar, el aire, las nubes, la evapotranspiración y el techo mismo. La figura 1 muestra como los diferentes tipos de flujos afectan las ganancias de calor que entran y salen del techo verde (Kriks D. et al., 2006).

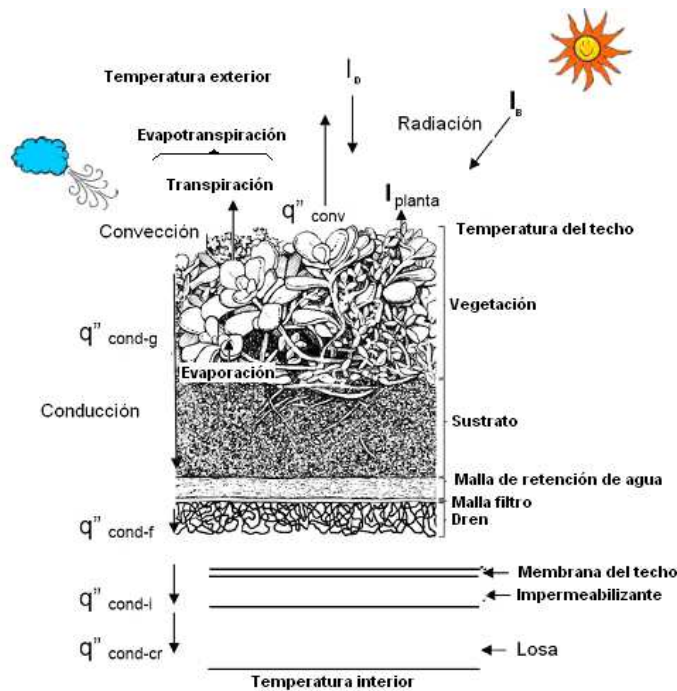


Figura 1. Factores que influyen en las ganancias de calor en los techos verdes.

Donde  $q''_{conv}$  es el flujo de calor relacionado con la convección entre el aire y la superficie de la vegetación,  $q''_{cond-g}$  es el flujo de calor por conducción de la vegetación,  $q''_{cond-f}$  es el flujo de calor por conducción entre el sustrato, la malla de retención y la malla filtro,  $q''_{cond-f}$  es el flujo de calor por conducción en la capa dren,  $q''_{cond-i}$  es el flujo de calor por conducción entre la membrana del techo y el impermeabilizante y  $q''_{cond-cr}$  es el flujo de calor por conducción en la losa.

Para el proceso de evapotranspiración se considera la evaporación del agua desde la superficie del sustrato y la transpiración de la vegetación. Para el caso de la radiación solar, esta es la mayor contribución de calor en verano y proviene de dos fuentes principales: la irradiancia solar directa ( $I_B$ ) y la irradiancia solar difusa proveniente del cielo y las nubes ( $I_D = I_{\text{cielo}} + I_{\text{nubes}}$ ).

### MODELO SIMPLIFICADO PARA EL ANÁLISIS TÉRMICO DEL TECHO VERDE.

La cantidad de irradiancia solar directa que entra al edificio depende de cómo la superficie del techo refleja la radiación solar y de la hora del día. Sin embargo a menor reflexión del techo mayor será la cantidad de calor que será absorbida ( $\alpha$ ). La energía radiante emitida por las nubes y el cielo depende de las condiciones meteorológicas y que estas sean constantes. La ganancia de calor total del edificio y la reflectividad del techo se pueden calcular utilizando la ecuación propuesta por XU (Xu K.A, 2005):

$$Q_{\text{rad}} = A\alpha(I_A + I_B + I_D) - \epsilon\sigma A(T_{\text{techo}}^4 - T_{\text{exterior}}^4) \quad (1)$$

Donde  $Q_{\text{rad}}$  es el calor por radiación,  $A$  es el área,  $\alpha$  es coeficiente de absorptancia,  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzman,  $\epsilon$  es el coeficiente de emisividad, y  $T$ 's son las temperaturas del techo y ambiente. La transferencia de calor por convección es principalmente causada por la corriente del viento ( $I_A$ ). Esta también depende de la diferencia entre la temperatura del techo y la temperatura exterior, así como del coeficiente de transferencia de calor por convección. El coeficiente puede ser relacionado con la velocidad del viento. La ecuación (2) nos permite calcular el coeficiente convectivo de la película exterior del techo verde (Xu, K.A, 2005):

$$h_{\text{exterior}} = 5.7 + (3.8) * (V_v) \quad (2)$$

Donde  $h_{\text{exterior}}$  es el coeficiente de transferencia de calor por convección exterior en ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ),  $V_v$  es la velocidad del viento en m/s. La conducción a través del techo verde depende de las conductividades térmicas ( $k$ ), el espesor ( $e$ ) y de las películas convectivas interiores y exteriores de los cuartos. Las conductividades térmicas son agrupadas en la literatura para cada componente y de forma general en el coeficiente global de transferencia de calor ( $U$ ). La ecuaciones (3) y (4) describen la transferencia de calor por conducción y su coeficiente global respectivo (Xu K.A, 2005).

$$Q_{\text{conducción}} = UA(T_{\text{techo}} - T_{\text{interior}}) \quad (3)$$

$$1/U = 1/h_{\text{interior}} + e_1/k_1 + e_2/k_2 + e_3/k_3 + \dots + 1/h_{\text{exterior}} \quad (4)$$

El paso final consiste en combinar todas las transferencias de calor para obtener la carga total de transferencia de calor (ver ecuación (5)) también propuesta por XU (Xu K.A, 2005).

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{radiación}} + Q_{\text{convección}} \quad (5)$$

Esta ecuación esta orientada para que cuando  $Q_{\text{total}}$  es positiva el calor entra al techo del edificio y cuando  $Q_{\text{total}}$  es negativa es calor sale del techo del edificio. En la figura 2 se muestra el techo verde del edificio.



Figura 2. Techo verde del edificio

### ESTUDIO DE CASO: CLIMA TEMPLADO

Para calcular las ganancias de calor que recibe el techo verde del edificio se deben conocer las condiciones climáticas del lugar donde se ubica el edificio. En la tabla 2 se resumen esas condiciones climáticas con base en los datos proporcionados por la estación meteorológica de Xalostoc.

DATOS	
Lugar:	Laboratorio Mallincrod Baker
Ubicación:	Calle plomo no. 2
	Fraccionamiento industrial Xalostoc
	Código postal 55320
	Municipio de Ecatepec de Morelos
	Estado de México
Aplicación:	Laboratorio farmacéutico
Latitud:	19°39'
Longitud:	99° 00'
Altitud:	2245 m.s.n.m
Día de diseño:	15 de Mayo
Hora de inicio.	13 horas
Temperatura ambiente:	26.8°C
Radiación solar global:	880 W/m <sup>2</sup>
Humedad relativa:	50% cuartos sin aire acondicionado 40% +/- 5% cuartos limpios con aire acondicionado
Temperatura interior de cuartos sin aire acondicionado	24.58°C
Temperatura interior de cuartos limpios con aire acondicionado:	20°C
Velocidad del viento:	3.12 m/s
Dirección:	Este-Noreste
A <sub>cuartos limpios con aire acondicionado</sub>	34.95 m <sup>2</sup>
A <sub>cuartos con aire acondicionado</sub>	58.78 m <sup>2</sup>
Absortancia	0.3
Emisividad	0.3

Tabla 2. Características del sitio en estudio.

## CONSIDERACIONES.

Dentro de los principales factores que se deben considerar además de la facilidad de accesos al techo verde y su seguridad tenemos que observar su constitución. Bajo el techo del laboratorio se encuentran dos tipos de áreas; las áreas con cuartos limpios que tienen aire acondicionado y las áreas con cuartos sin aire acondicionado. La primera área tiene una superficie de 34.95 m<sup>2</sup> y la segunda una superficie de 58.78 m<sup>2</sup>, respectivamente. El sistema techo verde está constituido de la siguiente manera: una capa de impermeabilizante, un sistema de drenaje hecho con 3 centímetros de grava ligera de 19 mm, un filtro de malla de mosquitero, una capa de 5 centímetros de sustrato, y finalmente sembrado de la planta Basutoland. De esta forma las capas quedarían como se puede ver en la figura 3.

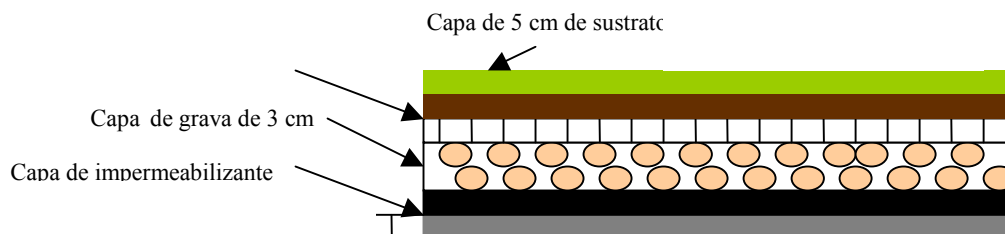


Figura 3. Capas que componen la vegetación Basutoland del techo verde

## SELECCIÓN DEL TIPO DE PLANTA.

La planta absorbe el agua de la lluvia antes de un largo periodo de sequía. Tiene hojas espesas y brillantes flores amarillas a inicios del verano. Las características de esta planta son:

Nombre común: Basutoland

Nombre científico: Delosperma nubigenum

Color de la flor: amarillo

Tiempo de florecimiento: mayo-junio

Altura de crecimiento máxima: 7.62 cm

Esporcimiento: 25.4 cm

Tolerancia a la sequía: muy alta

En la figura 4 se muestra una fotografía de esta planta.

Figura 4. Planta Basutoland

Es importante hacer notar que se considero una temperatura interior de la superficie de la losa de 25° C para los cuartos sin aire acondicionado. Esto debido a que de la tabla 2 se tiene una temperatura exterior de 26.8° C y una temperatura interior de 24.58° C. Por lo que se considero un aumento en la temperatura de 0.5° C. En la gráfica de la figura 5 se presentan los valores de las temperaturas del aire exterior y las temperaturas horarias de la superficie interior de la losa para los cuartos sin aire acondicionado, mediante los datos registrados por un sensor de temperatura para interiores DATA logger. Para la superficie de la losa en los cuartos limpios con aire acondicionado se considero una temperatura interior de 20° C.

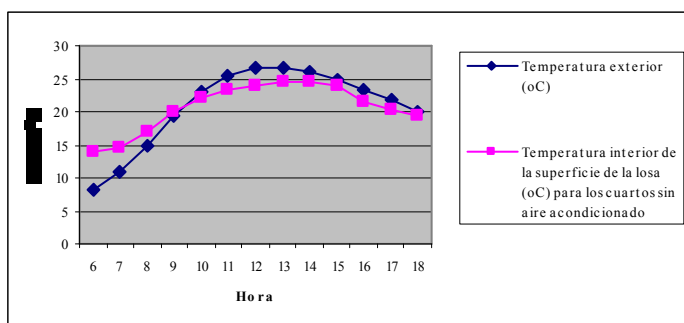


Figura 5. Curva de temperaturas horarias para el mes de mayo.

## ANÁLISIS TÉRMICO.

Si se aplica la ecuación (1) para la zona de los cuartos limpios que requieren climatización artificial el calor por radiación se obtiene:

$$Q_{rad, \text{ cuartos limpios con aire acondicionado}} = 9.34 \text{ kW}$$

Utilizando la misma ecuación para determinar el calor por radiación que recibe el techo en las áreas que no cuentan con aire acondicionado resulta:

$$Q_{rad, \text{ cuartos sin aire acondicionado}} = 15.71 \text{ kW}$$

Al sumar ambos resultados para las dos áreas del techo verde se obtiene que:  $Q_{rad, \text{ Total}} = 9.34 \text{ kW} + 15.71 \text{ kW} = 25.05 \text{ kW}$   
Por otra parte si se emplea la ecuación (2) para calcular el coeficiente convectivo exterior se tiene:

$$h_{\text{exterior}} = 5.7 + (3.8)(3.12 \text{ m/s}) = 17.556 \text{ (W/m}^2 \text{ K)}$$

Se consideró un coeficiente convectivo interior (ASHRAE, 1993) de 22.7 W/m<sup>2</sup> °C para los cuartos limpios con aire acondicionado y para las áreas sin aire acondicionado de 9.36 (W/m<sup>2</sup> °C). Para calcular las ganancias de calor por conducción es necesario primero calcular el coeficiente global de transferencia de calor U. En la tabla 3 se pueden ver los valores de conductividad térmica y espesores para los materiales empleados en el techo verde.

Material	Espesor(e)(m)	K(W/m <sup>0</sup> C)	R
l/h <sub>exterior</sub>			0,570
Losa	0,12	1,74	0,069
Impermeabilizante	0,01	0,6	0,017
Grava de 3/4	0,03	2,5	0,012
Malla de mosquitero	0,003175	0,188	0,017
Sustrato	0,05	1,16	0,043
Planta	0,05	1	0,050
l/h <sub>interior</sub>			0,044
			0,822
	U(W/m <sup>2</sup> °C)	=	1,217

Tabla 3. Material, espesor y conductividad térmica para los materiales de construcción del techo verde.

Este será el valor del coeficiente global U para el techo verde que esta sobre los cuartos limpios con aire acondicionado. Si realizamos el mismo procedimiento obtendremos un valor de  $U = 1.130 \text{ (W/m}^2 \text{°C)}$  para el techo verde de los cuartos sin aire acondicionado. Para el caso de las ganancias de calor por conducción y utilizando las expresión (4) se obtuvieron los siguientes resultados:

$$Q_{\text{conducción, cuartos limpios con aire acondicionado}} = 0.213 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{conducción, cuartos sin aire acondicionado}} = 0.028 \text{ kW}$$

Sumando los dos resultados obtenemos:

$$Q_{\text{conducción total}} = 0.213 \text{ kW} + 0.028 \text{ W} = 0.241 \text{ kW}$$

Utilizando la ecuación (5), las ganancias de calor totales serán:

$$Q_{\text{total}} = 25.05 \text{ kW} + 0.241 \text{ kW} = 25.291 \text{ kW}$$

Finalmente para comparar estos resultados, se debe realizar el balance térmico del edificio, sin considerar el techo verde, solamente utilizando la losa y el impermeabilizante. Para calcular las ganancias de calor por radiación se utilizo la ecuación (6) extraída del Incrópera (Incrópera P, 1996):

$$Q_{\text{radiación}} = \epsilon \sigma A (T_{\text{superficie}}^4 - T_{\text{ambiente}}^4) \quad (6)$$

En donde  $\epsilon$  es la emisividad (Incrópera P, 1996) del concreto que fue de 0.94,  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzman, la temperatura de la superficie de la losa ( $T_{\text{superficie}}$ ) se obtuvo utilizando un sensor de temperatura para exteriores DATA logger y fue de 65°C para las 13:00 horas.  $T_{\text{ambiente}}$  es la temperatura ambiente (26.8° C). Con estos valores se obtuvo una ganancia de calor por radiación de 24.88 kW. Para obtener las ganancias de calor por conducción necesitamos conocer primero la temperatura sol/aire ( $T_{s/a}$ ). Utilizando la expresión (7) propuesta por la ASHRAE (ASHRAE, 1993):

$$T_{s/a} = T_{\text{amb}} + \frac{H_T * \alpha}{h_{\text{exterior}}} - \frac{DR * \epsilon}{h_{\text{exterior}}} \quad (7)$$

En donde  $T_{\text{amb}}$  es la temperatura ambiente que en este caso fue de 42.94° C,  $H_T$  es la radiación solar global de 880 W/m<sup>2</sup>,  $\alpha$  es la absorptancia del material que en este caso es de 0.6, DR es la diferencia de radiación de onda corta y onda larga, y  $\epsilon$  es la emitancia del material con que fue construida la losa. Los datos de las propiedades ópticas de los materiales fueron tomados del Incrópera (Incrópera P, 1996). Si utilizamos nuevamente las ecuaciones (3) y (4) tenemos:

$$U_{\text{, cuartos limpios con aire acondicionado}} = 1.429 \text{ kW}$$

$$U_{\text{, cuartos sin aire acondicionado}} = 1.311 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{conducción, cuartos limpios con aire acondicionado}} = 1.145 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{conducción, cuartos sin aire acondicionado}} = 1.370 \text{ kW}$$

Al sumar las ganancias de calor por radiación con las ganancias de calor por conducción para la losa sin techo verde, se obtiene:

$$Q_{\text{radiación}} + Q_{\text{conducción}} = 24.88 \text{ kW} + (1.145 \text{ kW} + 1.370 \text{ kW}) = 27.395 \text{ kW}$$

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados anteriores, el aplicar los techos verdes a edificios que se encuentran ubicados en climas templados, representa una disminución de las ganancias de calor y por consecuencia una disminución en el consumo de energía eléctrica del aire acondicionado. Además de reducir los costos por mantenimiento de los mismos, debido a que trabajarán a menores temperaturas interiores. En el caso de estudio, esta disminución ascendió a un 8% (2.104 kW) de lo que

en un inicio gana térmicamente el edificio. Con estos resultados podemos observar que el techo verde funciona como capa aislante en la envolvente del edificio. Esto representa las siguientes ventajas: en el clima templado se encuentra ubicado la mayor parte de los grandes edificios en México por lo que al utilizar techos verdes se pueden disminuir las ganancias de calor en estos edificios. Con esta motivación, debemos resaltar la importancia que representa ampliar las investigaciones en este campo, para encontrar nuevas y mejores plantas que puedan adaptarse con facilidad a las condiciones que prevalecen en los sitios con clima templado. Realizar un catálogo de los coeficientes de conductividad térmica de dichas plantas será una buena opción para contar con información de apoyo para realizar futuras evaluaciones térmicas. Se sugiere para un futuro también, complementar este estudio con otro estudio de los impactos en la disminución de islas de calor o bien los incrementos que se tienen por absorción de CO<sub>2</sub> en los edificios que tienen techos verdes.

## NOMENCLATURA

$\alpha$	Coefficiente de absorción
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzman= $5.67 \times 10^{-8}$ (W/hr m <sup>2</sup> °K <sup>4</sup> )
$\epsilon$	Coefficiente de emitancia
$e_n$	Espesor de elemento n en metros
DR	Diferencia de radiación de onda corta y onda larga
h	Coefficiente de transferencia de calor por convección en (W/m <sup>2</sup> °C)
H <sub>T</sub>	Radiación solar global (W/m <sup>2</sup> )
I <sub>B</sub>	Irradiancia solar global (W/m <sup>2</sup> )
I <sub>D</sub>	Irradiancia solar difusa (Cielo, Inubes)
k	Coefficiente de conductividad térmica del material (W/m °C)
Q <sub>radiación</sub>	Ganancias de calor por radiación solar en kW
Q <sub>conducción</sub>	Ganancias de calor por conducción en kW
kW	Kilowatts
T	Temperatura en grados Centígrados
T s/a	Temperatura sol/aire en grados Centígrados
U	Coefficiente global de transferencia de calor (W/m <sup>2</sup> °C)
V <sub>v</sub>	Velocidad del viento en m/s
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
W	Watts

## REFERENCIAS

- American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers (1993). Handbook of Fundamentals. ASHRAE, Atlanta.
- Dane Kriks, Blaine Opheim, RaShelle Russell and Michael Washburn (2006). Green Roof Design for the University of Iowa IIHR Building. The University of Iowa, Iowa.
- Incrópera P. y De UIT P. Fundamentos de Transferencia de Calor (1996). 4ª edición, pp.1-10. Editorial Prentice Hall, D.F.
- Alcántara Lomelí A. y Fajardo Velasco L. Vegetación en cubiertas como sistema pasivo de enfriamiento en el cálido-subhúmedo: caso techo-pasto (2006). ANES Memorias de la XXX Semana Nacional de Energía Solar, pp 89-92, Veracruz.
- N Dimes & Ch.W.Harris (1997). Time Saver Standards for Landscape Architects, 2ª edición, Mc GrawHill, New York.
- Smith Martin, Raes Dirk, Pereira S. Luis y Allen g. Richard (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje 56, pp. 1-7. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
- Torres Rodríguez A. (2007). Diseño de un sistema para enfriamiento para cuarto limpio (clase 100) con base en consideraciones bioclimáticas y una unidad dividida. Tesis de maestría. UNAM, D.F.
- Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas [www.amenamex.org/index.php](http://www.amenamex.org/index.php)
- Green roof plants [www.greenroofplants.com/Catalogweb/Catalog.htm](http://www.greenroofplants.com/Catalogweb/Catalog.htm)
- Sistema Meteorológico del D. F [www.sma.df.gob.mx/simat/](http://www.sma.df.gob.mx/simat/)

## ABSTRACT

It shows heat potential to estimate of green roof, in moderate climate, which is located at the municipality Ecatepec of Morelos in Mexico State. First it shows the data in the climate municipality and the antecedents of the first green roofs what are used in Mexico. Also the design criterions considered for the use of these green roofs in the case on study. In the same way the thermal balance, it considers direct and diffuse solar radiation in order to calculate heat gains for conduction, convection and radiation on building's green roof. It was selected of a vegetation's range a plant with common name "Basutoland" by having the biological conditions more adaptable a climate which predominates in the site on study. Finally it estimated the thermal benefits which represents this type of passive system in the building in order to leave using commercial air conditioning system.

**Keys words:** green roof, passive system, moderate climate, air conditioning.