



Nova Scientia

E-ISSN: 2007-0705

nova_scientia@delasalle.edu.mx

Universidad De La Salle Bajío

México

Trujillo Samayoa, Ruber; Rangel Martínez, Yamile; Castañeda Nolasco, Gabriel
Potencial del techo verde, para ahorrar electricidad por aire acondicionado en la
edificación

Nova Scientia, vol. 7, núm. 15, 2015, pp. 577-596

Universidad De La Salle Bajío

León, Guanajuato, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203342741031>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Revista Electrónica Nova Scientia

Potencial del techo verde, para ahorrar
electricidad por aire acondicionado en la
edificación

Potential green roof, to save electricity by air
conditioning in the building

**Ruber Trujillo Samayoa¹, Yamile Rangel Martínez² y
Gabriel Castañeda Nolasco³**

¹Programa de Doctorado Interinstitucional de Ingeniería, Facultad de Arquitectura,
Universidad Autónoma de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez

²Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de
Hidalgo, Pachuca

³Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas

México

Ruber Trujillo Samayoa. E-mail: ruber200@hotmail.com

Resumen

Introducción: Tanto en México como en el mundo, más de tres cuartas partes de los insumos que se usan en la producción de electricidad provienen de fuentes no renovables, en una realidad donde los techos de las edificaciones son responsables de un consumo importante de electricidad por aire acondicionado. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el aspecto térmico y la eficiencia en el consumo de electricidad de dos aires acondicionados colocados, bajo el Techo de concreto reforzado y el Techo verde, y a la vez utilizar a la geometría analítica como herramienta de análisis en el consumo de electricidad.

Método: Aunque inicialmente la metodología de la climatología dinámica, fue desarrollada para el análisis térmico, en este trabajo se retomó para aplicarlo al consumo eléctrico y conjuntándolo con el apoyo de la geometría analítica, a través de ecuaciones de recta que representan promedios anuales, se evidenció las diferencias en el consumo.

Resultados: Los resultados obtenidos demuestran que el Techo verde amortigua mejor las temperaturas exteriores, reduce la oscilación térmica y; en el consumo eléctrico, con una diferencia promedio anual de un 28%, el Techo Verde consumió menos energía eléctrica por aire acondicionado.

Discusión o conclusión: Se demuestra que conviene el uso de techos verdes en el sitio de estudio y posibilita su aplicación en otros contextos. El trabajo se realizó en periodos de temperaturas extremas opuestas, invierno de 2014 y primavera de 2015.

Palabras clave: Techo Verde, envolvente, edificación, adaptación al contexto

Recepción: 19-08-2015

Aceptación: 17-10-2015

Abstract

Introduction: In Mexico and in the world, more than three quarters of the inputs used in the production of electricity from non-renewable sources, in a reality where the roofs of buildings are responsible for a significant consumption of electricity air conditioner. Therefore, the objective was to evaluate the thermal aspect and efficiency in electricity consumption of two air

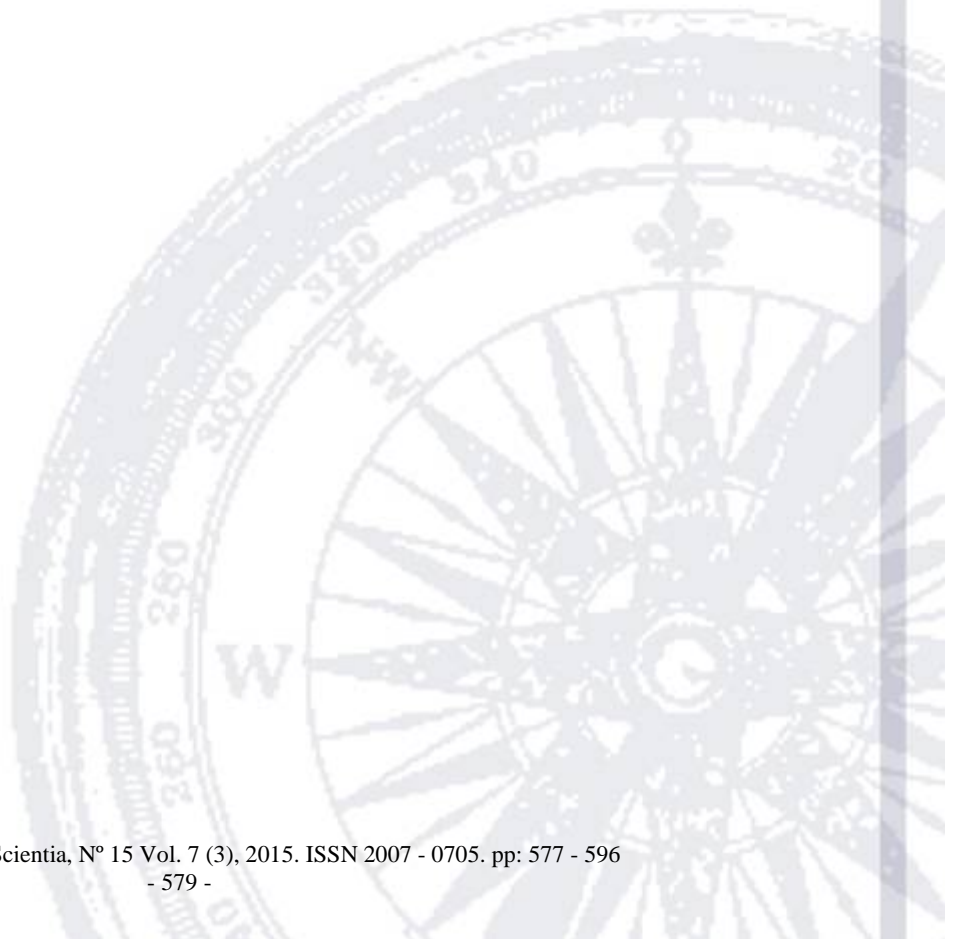
conditioners placed under the reinforced concrete roof and green roof, and also use analytical geometry as an analytical tool in the electricity consumption.

Method: Although initially the methodology of dynamic weather, was developed for thermal analysis, this work was resumed to apply to electricity consumption and together with the support of analytic geometry, through equations line representing annual averages, evidenced differences in consumption.

Results: The results show that green roof absorbs better outside temperatures, reduced thermal oscillation; in electricity consumption, with an average difference of 28%, the Green Roof less electricity consumed by air conditioning.

Discussion or conclusion: should show that the use of green roofs in the study site and possible application in other contexts. The work was done in periods of opposite extreme temperatures, winter 2014 and spring 2015.

Keywords: Green roof, envelope, building, adaptation to the context



Introducción

En sheffield, Reino Unido, se implementaron TV¹ extensivos a construcciones edificadas antes de 1900, bajo regulaciones menos exigentes en aislamiento termico y codigos estructurales, revisando calor, reflectividad solar, masa termica, efecto evaporativo, consiguieron 44% de ahorro electrico por refrigeracion y calefaccion en verano e invierno, (Castleton, et al., 2010, p. 1589). En Hong Kong, China, sostienen que la evapotranspiración de los TV extensivos tiene relación directa con indicadores de rendimiento térmico. Los TV mantienen humedad debido al retorno de agua de lluvia a su ciclo natural. El sustrato vegetal seco en un día soleado demuestra alta evapotranspiración, (Jim & Peng, 2012, p. 19). Los diferentes tipos de vegetación pueden reducir temperaturas locales hasta 15° K en el día, con el TV se modificó el albedo y redujo la temperatura algunos grados, sostiene en Hannover, Alemania, (Gross, 2012, p. 410). Hasta en 4 dB puede reducirse el ruido urbano, en mediciones de nivel a presión sonora en cámara semianecoica, sostiene en un trabajo en el marco de los entornos urbanos sustentables, la expectativa de vida de 30 años de un sistema de impermeabilización aplicado bajo un TV, puede duplicarse hasta 60 años por que no se expone a la radiación solar, sostiene IGRA², en Nürtingen, Alemania, (Appl & Ansel, 2009, p. 36).

Los TV, favorecen las cinco fases³ del ciclo del agua, por las siguientes razones: Reducen el escurrimiento superficial porque retienen parte del agua de lluvia, en el medio poroso, agua que se integra al ciclo a través de la evapotranspiración. Dado que la superficie del TV es permeable, también se retarda el tiempo inicial del escurrimiento por infiltración del agua en el suelo. Cuando la lluvia cesa y desaparece la capa de anegamiento en la superficie, el volumen de agua que fue retenido percola⁴, por lo que el desplazamiento del agua es más lento que el que corresponde a una superficie impermeable, (G. Rosatto, et al., 2010).

De acuerdo a lo que sugieren investigadores, el escurrimiento solo se produce hasta que el suelo está cerca de la saturación, por lo que TV extensos, tienen fuerte potencial para retrasar y suprimir el pico de descarga de aguas pluviales, extender la duración de descarga y reducir la cantidad total de la descarga, (Jim & Peng, 2012). En días lluviosos, el agua de lluvia podría ser retenida entre el 9% y el 42%, como se demuestra en un estudio hecho en Hong Kong, donde se

¹ Techos verdes

² International Green Roof Association.

³ Las cinco fases del ciclo del agua son: evaporación, condensación, precipitación, infiltración y escorrentía.

⁴ Paso lento de fluidos a través de materiales porosos.

obtuvieron nueve escenarios a partir de tres estados de humedad del sustrato (mojado, húmedo y seco) y tres características del tiempo (soleado, nublado y lluvioso), (Jim & Peng, 2012). Por lo anterior, los TV contribuyen a recargar los acuíferos, reducir los escurrimientos de agua de lluvia y por lo tanto, los impactos negativos que trae consigo, (Urbano & López, 2013), (CEC, 2008).

En este trabajo, se profundiza en el análisis del consumo eléctrico por el uso de aire acondicionado, como consecuencia del calentamiento del techo de la edificación, en un lugar con clima cálido Subhúmedo.

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, casi el 80% de las viviendas tienen TCR⁵, (INEGI, 2010), que por sus propiedades termofísicas, significa almacenamiento de energía en forma de calor en el día y su liberación en la noche, hasta la madrugada, principalmente a través de la conducción, (McQuiston, et al., 2010, p. 55). Cuando esto sucede, el techo puede estar aportando calor al ser humano por arriba del equilibrio térmico de la piel, puesto que esta se mantiene entre 31 y 34° C, (Auliciems & Szokolay, 1999, p. 37). Consecuentemente en un número importante de casos, al usar aire acondicionado, se espera para el 2020, un incremento en la demanda de electricidad hasta del 500%, (Tejeda Martínez & Rivas Camargo, 2003, p. 49).

Método

a) El Contexto

Este trabajo se hizo con el apoyo de la teoría de la climatología dinámica, (Vecchia, 1997, p. 73), misma que de acuerdo con la figura 1, se ubica en el contexto climático de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas de 1951 a 1980, con información del sistema meteorológico nacional, donde se establecen tres registros de temperaturas del aire; media de las máximas, media de las medias y media de las mínimas en el año. De acuerdo a la información de temperaturas que proporcionan las normales climatológicas, se tienen dos extremos, el periodo de altas y el de bajas temperaturas, el primero en abril-mayo (periodo cálido) y el extremo opuesto en noviembre-diciembre (periodo frío).

El periodo cálido de mediciones se realizó del 15 de abril al 15 de mayo, según la figura 2, posteriormente en ese periodo de mediciones, como se muestra en la figura 3, se identificó un periodo representativo climático del 4 al 14 de mayo, en el que se identificó un DTE⁶, (Vecchia,

⁵ Techo de concreto reforzado

⁶ Día típico experimental.

1997, p. 73), el 6 de mayo, donde la temperatura del aire alcanzó su máximo valor de 36.87° C, apenas 1° C arriba de lo registrado por la temperatura media de las máximas representada en las normales climatológicas, en tanto que los valores mínimos ese día registraron 20.79° C y 22.05° C, al amanecer respectivamente.

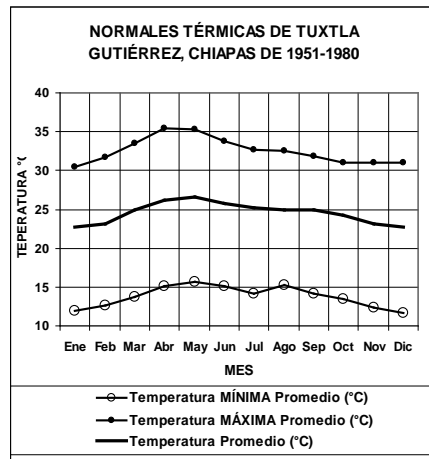


Figura 1. Normales climatológicas para Tuxtla Gutiérrez de 1951 a 1980. Fuente: desarrollada por (Castañeda & Vecchia, 2007, p. 23), con datos del SMN.

Por contribución específica en este trabajo, se obtuvo también un periodo de mediciones de consumo eléctrico acumulado en el mismo periodo de mediciones de temperaturas, del 15 de abril al 15 de mayo, según la figura 4. Aplicando la geometría analítica a la representación grafica del consumo eléctrico⁷, el valor m , en la ecuación de la recta de la forma $y = mx + b$, para el TCR es mayor que para el TV, con 9.21 sobre 7.23, como una pendiente mayor indica mayor consumo eléctrico en el mismo periodo de tiempo, los valores indican que el consumo es mayor en el TCR que en el TV.

⁷ y representa al consumo eléctrico y x representa el tiempo de trabajo del aire acondicionado.

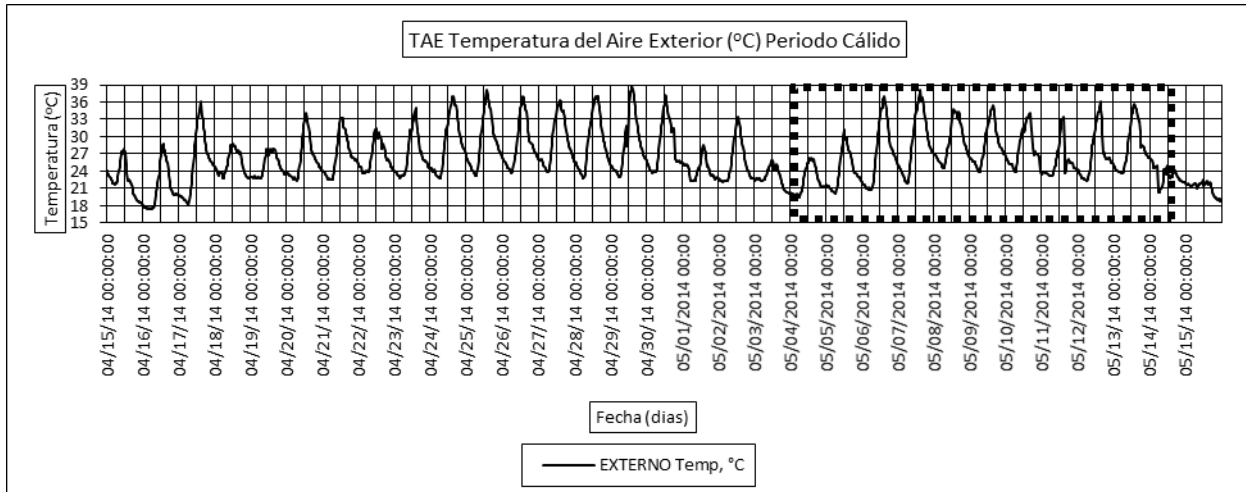


Figura 2. Periodo cálido de mediciones del 15 de abril al 15 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014, p. 129).

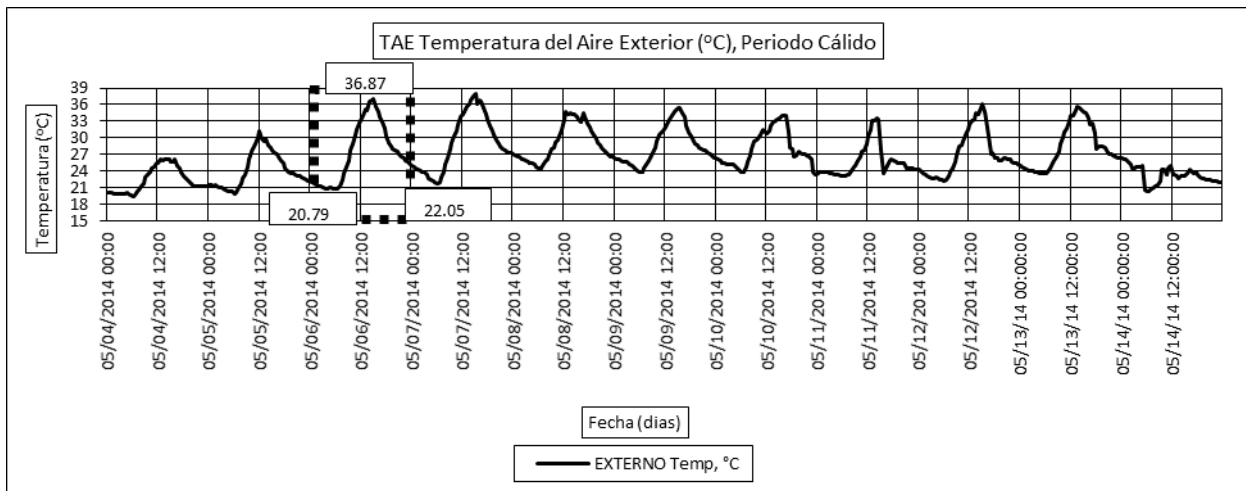


Figura 3. Periodo representativo de calor del 4 al 14 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014, p. 129).

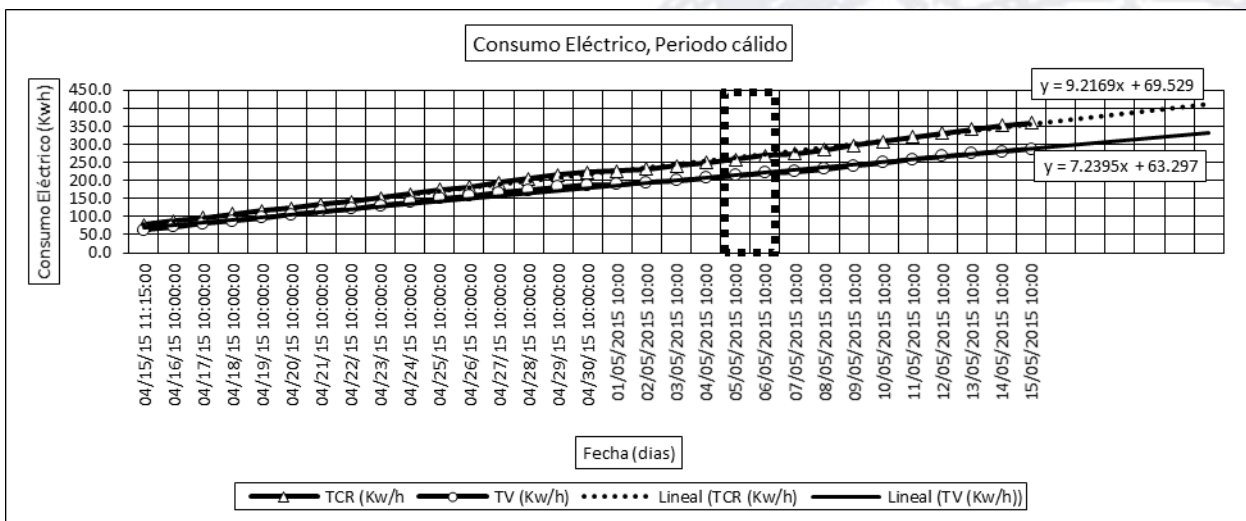


Figura 4. Consumo eléctrico acumulado en el periodo cálido, fuente: (Trujillo, 2014, p. 130).

El periodo frío de mediciones fue del 15 de noviembre al 10 de diciembre, como se muestra en la figura 5. Puesto que las normales climatológicas indican las temperaturas mas bajas del año, por la llegada de frentes fríos, (SMN, 2015, p. 1). En ese periodo se ubicó un periodo representativo climático del 27 de noviembre al 10 de diciembre, según la figura 6, en el que se identifica recurrencia en la temperatura del aire y además en ese periodo se ubica el DTE, el 28 de noviembre, día en que la temperatura del aire alcanzó su máximo valor a las 13:00 horas con 25.50° C, superando por 2.5° C el promedio de las medias indicada en la normales climatológicas, mientras que los valores mínimos fueron de 15.17° C y 15.46° C, ambas al amanecer. En el consumo eléctrico acumulado en el periodo frío, del 22 de noviembre al 9 de diciembre, los valores de m , 4.27 y 3.53 para el TCR y el TV respectivamente, como se muestra en la figura 7, en la ecuación de la recta en la forma $y = mx + b$, ambos valores son menores que en el extremo cálido, mencionados anteriormente.

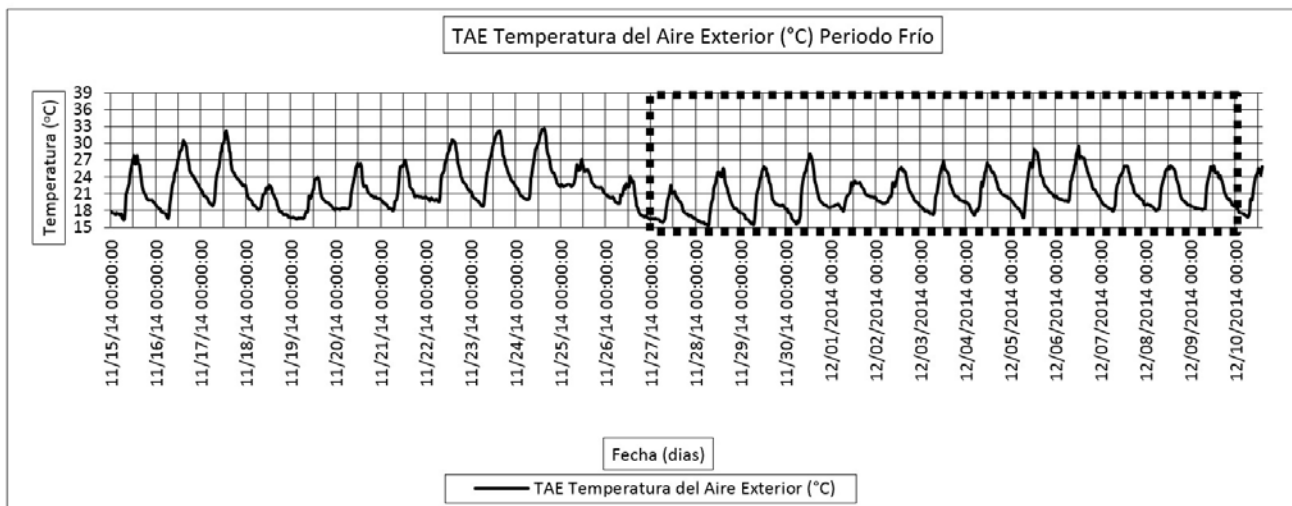


Figura 5. Periodo de mediciones del 15 de noviembre al 10 de diciembre, fuente: (Trujillo, 2014, p. 131)

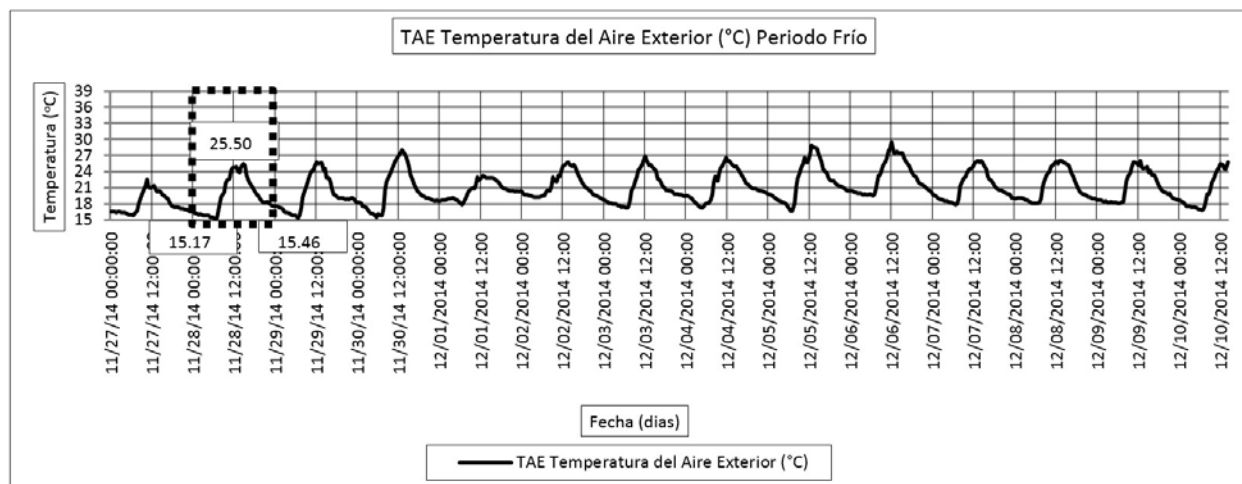


Figura 6. Periodo representativo climático del 27 de noviembre al 10 de diciembre, fuente: (Trujillo, 2014, p. 131)

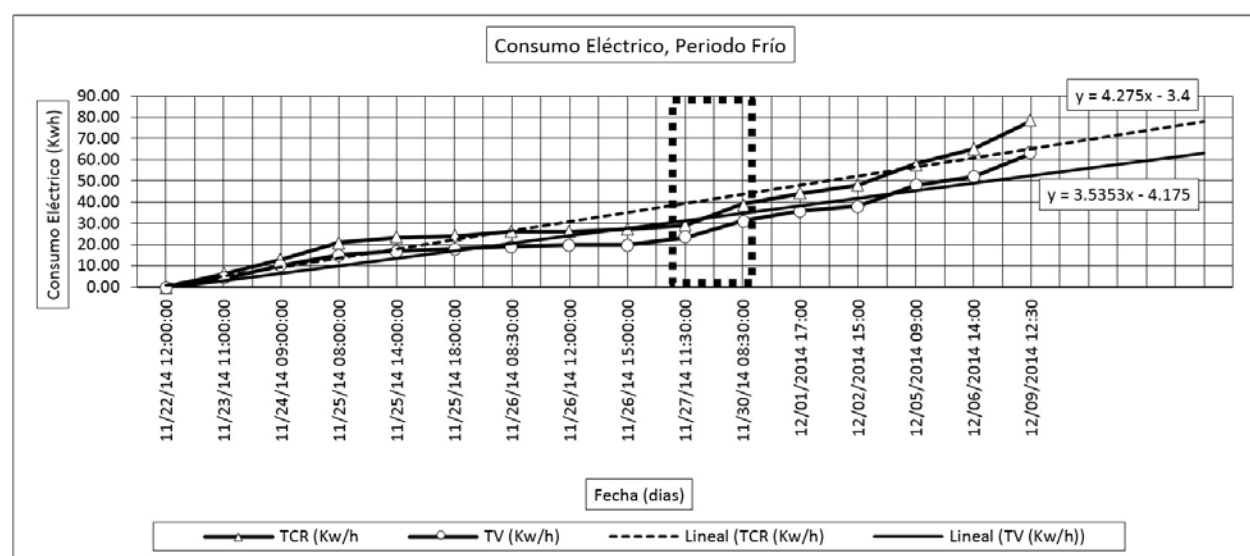


Figura 7. Consumo eléctrico acumulado en el periodo Frío, fuente: (Trujillo, 2014, p. 131)

b) Las tecnologías de techo

Las celdas de experimentación son dos edificaciones con muros de ladrillo artesanal aplanado al exterior con dimensiones 2.22 m x 2.67 m y altura promedio de 2.47 m, según se aprecia en la figura 9, ambos techos tienen orientación sur y la constitución de estos es lo único diferente, uno tiene TV y el otro TCR (ver figura 8). Emplazadas en el área del laboratorio de arquitectura bioclimática⁸ de la facultad de arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.

⁸ Laboratorio a cargo del cuerpo académico Componentes y condicionantes de la vivienda (COCOVI) en la facultad de arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.



Figura 8. Celdas de experimentación TCR Y TV, fuente: (Trujillo, 2014, p. 117)

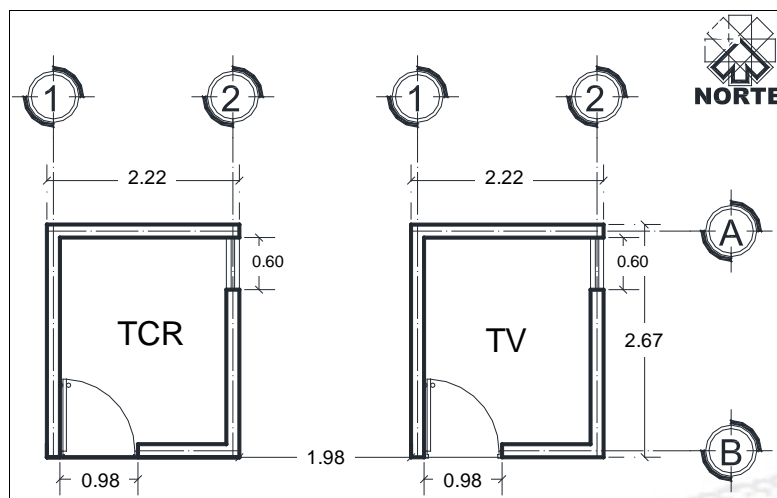


Figura 9. Plantas arquitectónicas de las celdas de experimentación TCR y TV, fuente: (Trujillo, 2014, p. 118)

El sistema TCR es una placa monolítica de 10 cm de espesor, mostrada en la figura 10, que se fabrica con cemento, agregados y agua, reforzada con acero, los coeficientes térmicos⁹ y densidades del concreto y el acero son 1.74 y 52.3 W/mK; y 2,300 y 7,800 kg/m³, respectivamente, (SENER, 2011, p. 72), (Gonzalez, 1997, p. 4). Este techo es el referente por mejorar pues el 80% de las viviendas en Tuxtla están construidas con este sistema, (INEGI, 2010).

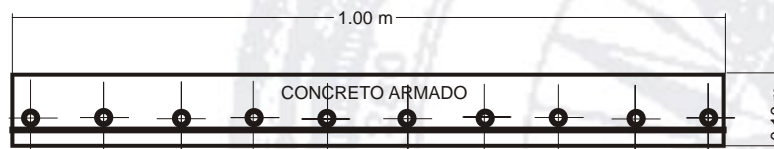


Figura 10. Sección unitaria de TCR y refuerzo de acero corrugado, fuente: (Trujillo, 2014, p. 119).

⁹ Conductividad térmica.

El sistema TV está compuesto de dos fases, como se muestra en la figura 11. La primera es el techo térmico, esto es, dos capas de concreto con material interior aislante, evaluado en sus aspectos, proceso constructivo, desempeño térmico, precio, (Trujillo, 2011, p. 98). La segunda fase, el TV tiene cinco componentes, plástico en rollo, capa drenante de pet, fieltro, sustrato vegetal de 10 cm de espesor con suelo del lugar y finalmente la vegetación, (Castañeda & Vecchia, 2007, p. 27). Los coeficientes térmicos del impermeabilizante, el filtrante (fieltro) y el sustrato vegetal son 0.17, 0.04 y 0.582 W/mK respectivamente, mientras que las densidades del impermeabilizante y el sustrato son 1,127.0 y 0.0015 kg/m³ respectivamente, (SENER, 2011, p. 72), (Gonzalez, 1997, p. 4).

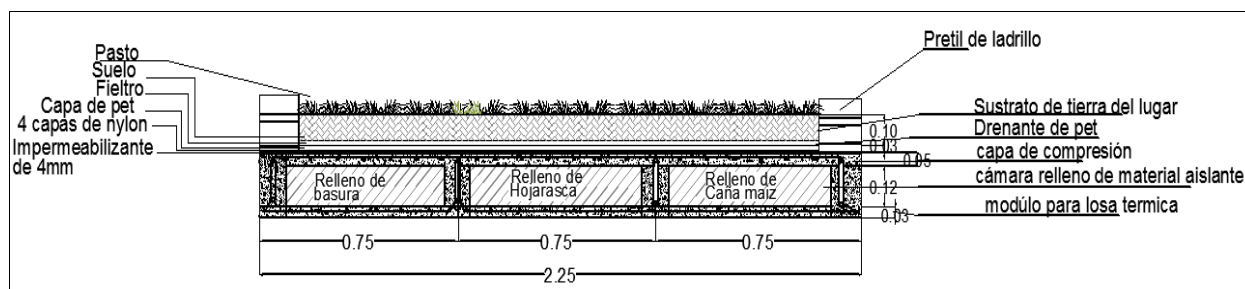


Figura 11. Sección de TV y componentes, fuente: (Trujillo, 2014, p. 120).

c) Equipos de medición y aire acondicionado

En ambas celdas de experimentación se colocaron equipos de refrigeración artificial, sistemas de ventana autónomo modelo MCC081RB-C marca Carrier, (Carrier, 2013, p. 8) de 8,000 BTU/h, 2,345 W con dimensiones 0.56mX0.65mX0.40m.

Según se muestra en la figura 12, las mediciones de consumo eléctrico se hicieron de manera manual a cada 24 horas, leyendo los medidores de energía con sistema de medición inteligente de autogestión de lectura manual de la marca IUSA, que puede operar con prepago o postpago, propiedad de CFE¹⁰, (IUSA, 2014).

¹⁰ Comisión Federal de electricidad.



Figura 12. Medidor de consumo electrico, fuente: tomado de (IUSA, 2014, p. 5)

Las temperaturas se midieron con equipo de adquisición automática de datos de la familia Hobo, tanto para las temperaturas interiores como la exterior, como se aprecia en la figura 13, procesados con el software Hobo Ware Pro.



Figura 13. Equipo de medicion de temperaturas, fuente: tomado de (ONSET, 2014, p. 11)

Resultados.

a) TSI¹¹

Se obtuvieron registros térmicos de los dos techos comparados en el DTE en los dos periodos, el cálido y el frío. El 6 de mayo fue el DTE en el periodo cálido. En la figura 14, se menciona 30° C,

¹¹ Temperatura superficial interior.

como límite máximo aceptable para el ser humano, 1°C debajo del parámetro comprendido entre 31°C y 34°C , (Auliciems & Szokolay, 1999, p. 37), en que se mantiene la temperatura de la piel. Cuando el techo rebasa esta temperatura, puede estar aportando calor en exceso al ser humano, consecuentemente con efectos negativos. La TSI del TCR alcanza su máximo valor de 36.96°C , mientras la TSI del TV, apenas alcanza un valor de 31.05°C , ambos a las 16:00 horas, esto indica que existe una diferencia de 5.91°C y no existe retardo térmico entre ellos. El sobre calentamiento es de 6.96 y 1.05 para el TCR y el TV, respectivamente.

La TSI del TCR alcanza un valor mínimo de 23.32°C , en tanto la TSI del TV registra un valor mínimo de 24.46°C , la amplitud térmica es menor en el TV con 6.59°C que en el TCR con 13.64°C .

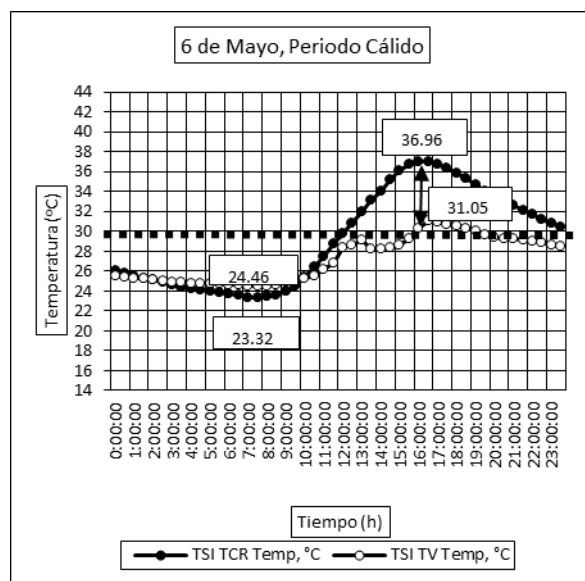


Figura 14. Día típico experimental el 6 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014, p. 132)

El 28 de noviembre fue el DTE en el periodo frío, en la figura 15, se muestra nuevamente los 30°C basados en lo expuesto por (Auliciems & Szokolay, 1999, p. 37). La TSI del TCR alcanzó su máximo valor de 42.44°C a las 13:00 horas y la TSI del TV alcanzó su máximo valor de 22.51°C a las 19:30 horas; esto indica una diferencia entre temperaturas máximas alcanzadas de 19.93°C y un retardo térmico entre los dos techos de 6.5 horas. El sobrecalentamiento del TCR es de 12.44°C y el TV no presenta sobrecalentamiento. Los valores mínimos de la TSI fueron de 15.12°C y 18.72°C para el TCR y el TV respectivamente, esto ratifica que la amplitud térmica es menor en el TV con 3.79°C que en el TCR con 27.32°C .

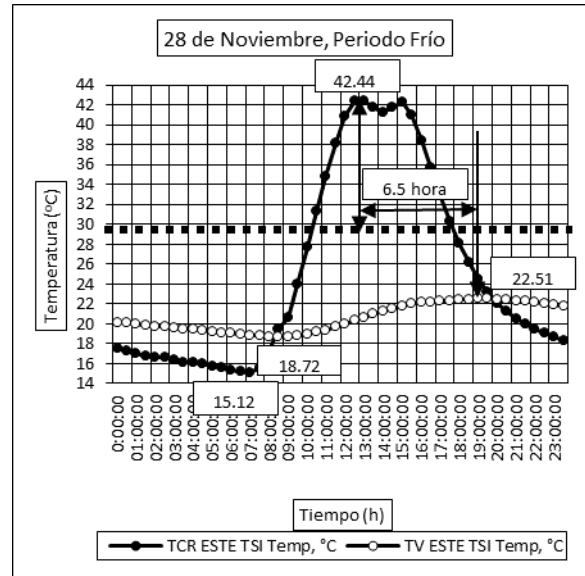


Figura 15. Día típico experimental el 28 de noviembre, fuente: (Trujillo, 2014, p. 133)

b) Consumo eléctrico.

Se tomó un día equivalente al DTE, pero ahora de consumo eléctrico, también en los periodos extremos opuestos. El DTE el 6 de mayo, que se muestra en la figura 16, en el periodo cálido, paralelo al DTE de temperaturas. El TCR consumió 11 Kwh, mientras que el TV consumió 7 Kwh, por lo que se reflejó una diferencia de 4 Kwh en 24 horas transcurridas, Los valores m de 11 y 7 de las rectas que indican consumo eléctrico para el TCR y el TV respectivamente, confirman la diferencia en el consumo.

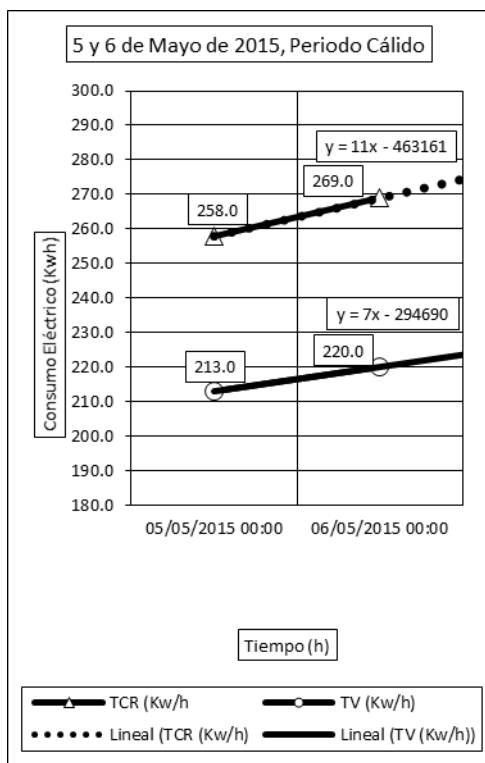


Figura 16. Consumo Eléctrico del 5 al 6 de mayo, fuente: (Trujillo, 2014, p. 134)

En el periodo frío, el DTE fue el 28 de noviembre en el que, por responsabilidad principalmente de la conducción de calor, el TCR consumió 3.33 Kwh y el TV 2.67 Kwh, que se muestra en la figura 17, esto indica que el TCR consumió 0.66 Kwh mas electricidad que su homologó TV en el mismo periodo de 24 horas transcurridas. Los valores de m en la ecuación de la recta en la forma $y = mx + b$ que representa al consumo eléctrico, para el TCR fue de 3.33, mientras que para el TV fue de 2.66. Esto indica que el TCR consume más electricidad que el TV.

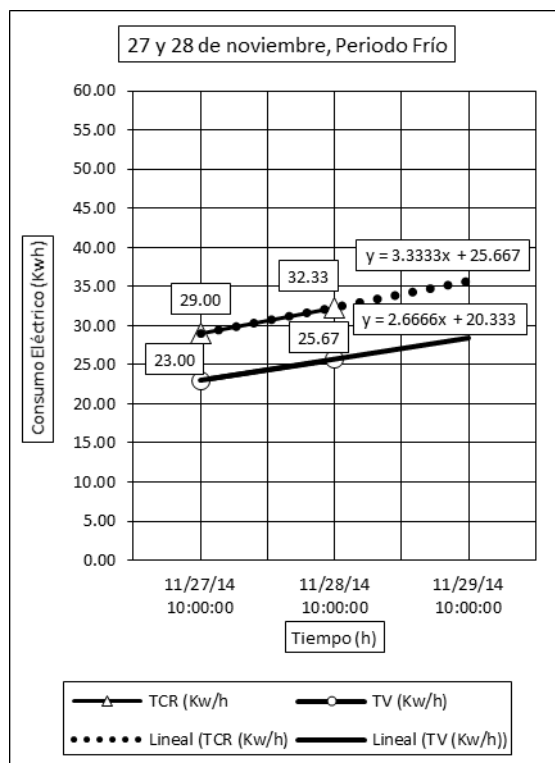


Figura 17. Consumo Eléctrico el 28 de noviembre, fuente: (Trujillo, 2014, p. 135)

A partir de las ecuaciones de consumo eléctrico obtenidas en los periodos extremos opuestos, cálido y frío, Se obtuvieron ecuaciones de consumo promedio eléctrico anual para ambos techos que están dadas en la tabla 1, en las ecuaciones del promedio anual en ambos techos, al aplicar valores a x , el valor de y será mayor en el TCR que en el TV.

Tabla 1. Ecuaciones del promedio anual de consumo electrico, (Trujillo, 2014, p. 135)

	TCR	TV
Periodo cálido	$y = 9.21x + 69.52$	$y = 7.23x + 63.29$
Periodo frío	$y = 4.27x - 3.40$	$y = 3.53x - 4.17$
Promedio anual	$y = 6.74x + 33.06$	$y = 5.38x + 29.56$

Discusión

La TSI, la oscilación térmica y el sobrecalentamiento son menores para el TV, porque los materiales que lo constituyen son de baja densidad y por lo tanto de baja conductividad, por eso es menos conductor y acumula menos calor en el tiempo.

Tanto la TSI como la oscilación térmica así como el sobrecalentamiento del TCR son mayores porque los materiales que lo constituyen son de alta densidad y de alta conductividad, esto lo convierte en mejor conductor de calor y acumula calor y lo libera al transcurrir el tiempo.

El aire acondicionado colocado bajo el TV logró menor consumo de electricidad por que el aire interior fue menos calentado por el techo en horas de sol y, además el aire recibió menos calor acumulado a través del techo. Por ambas condiciones, el equipo de aire acondicionado trabajó durante menos tiempo consumiendo menos electricidad, como consecuencia de que el aire se ubica de mejor forma dentro del rango de comodidad térmica.

El aire acondicionado colocado bajo el TCR consumió en promedio 28% más electricidad por que el aire interior alcanzó una temperatura más alta, afectado por el calor conducido a través del techo, más el acumulado en el tiempo, el resultado fue mayor tiempo de trabajo en este equipo y se traduce en consumo eléctrico 28% mayor que en el TV. Utilizando la ecuación de la recta que representa el promedio anual del consumo eléctrico en Tuxtla Gutiérrez, se pueden hacer proyecciones de consumo eléctrico esperado, en equipos de aire acondicionado tanto para el TV como para el TCR.

En este trabajo se abordan parte de los beneficios que los TV proporcionan al usuario de la edificación, y el énfasis del trabajo se centra en la eficiencia en el consumo de energía que se puede conseguir a través de la utilización de esta tecnología. Sin embargo, por las evidencias que se obtienen como resultados en este trabajo, es importante, que también se realicen estudios profundos, con las cuantificaciones correspondientes, como una estrategia de gestión integral, en los aspectos de, mejoramiento del ciclo urbano del agua, mejoramiento térmico, mejoramiento acústico, prevención de inundaciones, la disminución de la contaminación ambiental, intercepción de la radiación ultravioleta; todos estos aspectos en contextos locales, pues de esta forma puede contarse con estudios que demuestren la conveniencia del uso de los TV.

Conclusiones

Los resultados de la evaluación térmica de ambos techos, ratifican resultados obtenidos en literatura anterior. El TV demostró mejor desempeño térmico, lo que produjo menor tiempo de trabajo del equipo de aire acondicionado, que al lograr ahorro de electricidad, con una diferencia del 28% promedio anual, promueve beneficios al medio ambiente y económicos al usuario. En la proyección del consumo eléctrico promedio, se incluye el año completo al utilizar los máximos y mínimos que nos proporcionan las temperaturas extremas opuestas, según información proporcionada por SMN en las normales climatológicas.

Existe alimentación recíproca entre los conocimientos de licenciatura y los utilizados en este trabajo. Como parte de los conocimientos de geometría analítica que se abordan al inicio de la licenciatura en arquitectura e Ingeniería, existe el plano cartesiano conformado por el eje de las abscisas y el de las ordenadas, en el cual puede existir una línea recta que puede ser expresada en la forma $y=mx+b$. Por otro lado, la manera de graficar el consumo de energía eléctrica acumulado, por las características de los medidores usados, es con una línea recta expresada por la ecuación de la recta en la forma $y=mx+b$, donde, el tiempo que los equipos de aire acondicionado trabajan, es el eje de las abscisas y el consumo eléctrico corresponde al eje de las ordenadas. De esta forma se obtiene la ecuación de la recta, con la cual, se pueden obtener consumos de energía eléctrica variando el tiempo en el que se necesita obtener el consumo. Por lo anterior, este trabajo, toma conocimientos que se imparten en nivel licenciatura, específicamente de la geometría analítica, y los resultados que se obtienen en este trabajo, aparte de la contribución disciplinar por la conveniencia del uso de TV, ilustra a los estudiantes de licenciatura en formas de aplicación de los conocimientos aprendidos en la ciencia básica mencionada. Los resultados demuestran que conviene el uso de TV en diversos géneros arquitectónicos en la edificación, vivienda, espacios educativos, espacios para la atención de la salud, oficinas, actualmente fuertes consumidores de energía por aire acondicionado.

Agradecimientos

Se otorga reconocimiento a la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH), a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado (DGIP) por los recursos recibidos para la realización de este trabajo de investigación, y al mismo tiempo se agradece al Consorcio de Universidades Mexicanas (CUMex) y a las universidades involucradas en el Doctorado

Interinstitucional de Ingeniería Civil (DIIC) por los recursos aportados para la asistencia a la recepción de cursos y evaluaciones en el programa. Así también se agradece a CFE por la donación y colocación de los medidores de energía eléctrica.

Referencias

- Appl, R. & Ansel, W., 2009. Green roofs: Bringing nature back to town. *Proceedings: International Green Roof Congress 2009, Berlin: International Green Roof Association*, pp. 35-45.
- Auliciems, A. & Szokolay, S. V., 1999. Thermal Comfort. *PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland.*
- Carrier, 2013. *Catalogo de Productos 2013*. [En línea] Available at: <http://www.carrier.com.mx/> [Último acceso: 25 Enero 2015].
- Castañeda, G. & Vecchia, F., 2007. Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, pp. 21-30.
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B. M. & Davidson, J. B., 2010. Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings, Volume 42, Issue 10*, pp. 1582-1591.
- CEC, 2008. *Green Building in North America, Opportunities and Challenges*. Montreal (Quebec), Canada: Comission for Environmental Cooperation.
- G. Rosatto, H. y otros, 2010. Eficiencia de la retención hídrica de las cubiertas Vegetadas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, pp. 213-219.
- Gonzalez, E. M., 1997. Selecccion de Materiales en la Concepcion Arquitectonica Bioclimatica. *Memorias del congreso de Asociacion Nacional de Energia Solar (Anes) 2003*, pp. 01-20.
- Gross, G., 2012. Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments. *Meteorologische Zeitschrift, Vol. 21, No. 4*, pp. 399-412.
- INEGI, 2010. *Censo de Población y Vivienda, 2010*, México, D. F.: INEGI.
- IUSA, 2014. *Medidores de Energía con Sistema de medición Inteligente de Autogestión*. [En línea] Available at: <http://www.iusa.mx/> [Último acceso: 25 Enero 2015].
- Jim, C. Y. & Peng, L. H. L., 2012. Substrate moisture effect on water balance and thermal regime of a tropical. *Ecological Engineering* 47, p. 9– 23.
- McQuiston, F. C., Parker, J. D. & Spitler, J. D., 2010. *Heating, Ventilating and Air Conditioning, Analisis and Design*. New York: John Wiley & Sons, LTD.
- ONSET, 2014. *Product Catalog*. [En línea] Available at: <http://www.onsetcomp.com/> [Último acceso: 25 Enero 2015].

- SENER, 2011. *NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios para uso habitacional*, México: Diario oficial.
- SMN, 2015. *Sistema Meteorológico Nacional (SMN); Comisión Nacional del Agua (CNA)*. [En línea]
Available at: <http://smn.cna.gob.mx/observatorios/historica/tuxtla.pdf>
- Tejeda Martínez, A. & Rivas Camargo, D. A., 2003. El Bioclima Humano en Urbes del Sur de México para condiciones de duplicación de CO₂ Atmosférico. *Investigaciones Geográficas, agosto, número 051, Universidad Nacional Autónoma de México*, pp. 37-52.
- Trujillo, R., 2011. *Evaluación técnico constructiva de techo para vivienda en clima cálido subhúmedo*, Tuxtla Gutierrez, Chiapas: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Trujillo, R., 2014. *Eficiencia Energética en la Edificación en Tuxtla Gutiérrez Chiapas, usando Techos Verdes*, Tuxtla Gutiérrez: Universidad Autónoma de Chiapas.
- Urbano, B. & López, D. M., 2013. Naturación Urbana, Un desafío a la Urbanización. *Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, pp. 225-235.
- Vecchia, F., 1997. *Clima e Ambiente Construido Tese (Doutorado)*. São Paulo: Universidad de São Paulo