Artículo original interno
Univesidad Autónoma Metropolitaza - Azcapotzalco

Recibido: 01/03/2016
Aceptado: 04/05/2016
Publicado:30/11/2016

La doble cubierta ventilada en climas cálidos y el potencial de uso de las láminas metálicas. Una revisión de casos de estudio

Double-skin roofs in hot climates and potential use of steel sheets. A review of case studies

Sandra Elisa Rodríguez Trejo

Arquitecta por la Universidad de Guadalajara, campus Centro Universitario de la Costa. Especialización en Diseño en Arquitectura Bioclimática en la UAM Azcapotzalco, actualmente realizando estudios de Maestría en Diseño Bioclimático en la misma institución.

Resumen

En climas cálidos, una cubierta energéticamente eficiente debe reflejar tanta radiación solar como sea posible y emitir el calor absorbido rápidamente, la doble cubierta ventilada es una solución constructiva adecuada pues utiliza criterios de acondicionamiento pasivo para proveer un ambiente interior confortable: la segunda cubierta disminuye las ganancias térmicas al formar un escudo contra la radiación solar y sombrear el techo principal, el calor acumulado en el espacio entre capas se disipa mediante ventilación cruzada. Las láminas metálicas tienen potencial de uso como segunda cubierta gracias a su recubrimiento de alta emisividad en el espectro infrarrojo largo, ligereza y resistencia.

Palabras clave: doble cubierta, cubierta metálica, clima cálido, control térmico, transferencia de calor, ventilación.

Abstract

In warm climates, an energy-efficient roof should reflect as much solar radiation as possible and emit the heat absorbed quickly, double-skin vented roof is a suitable solution because it uses passive conditioning criteria that make it effective in providing good indoor living conditions: the second skin reduces heat gains to form a shield against solar radiation and shading the main roof, any heat that builds up between the two layers is carried away by cross-ventilation. The steel sheets have potential for use as second skin; have a high emissivity coating in the long infrared spectrum, besides being lightweight and resistant.

Keywords: double-skin roof, metal roof, warm climate, thermal control, heat transfer, ventilation.

Av. San Pablo 180. Col. Reynosa Tamaulipas, México, Ciudad de México, Del. Azcapotzalco, CP 02200
sandraelisar@gmail.com

Introducción

Debido a la cercanía con el Ecuador de algunas regiones con climas cálidos, la radiación solar directa es el factor que más influye en la ganancia de calor solar en los techos de las edificaciones, incluso en mayor cantidad que en los muros, bajo tales condiciones el ambiente térmico interior tiende a sobrecalentarse, razón por la cual es necesario proporcionar la protección adecuada con el fin de reducir al mínimo las ganancias térmicas y con ello el consumo de energía para climatización artificial requerida para mantener un ambiente interno confortable.

Dado que el techo es el principal receptor de la radiación solar, es importante disminuir su impacto en las ganancias de calor y propiciar la ventilación para disiparlo, proporcionar un sombreado adecuado y favorecer el paso libre del aire son condiciones recomendables para la solución del sistema constructivo en climas cálidos, una doble cubierta ventilada es un sistema de acondicionamiento pasivo viable y eficiente si sus características son diseñadas adecuadamente.

En términos generales un sistema de doble cubierta consiste en proporcionar una segunda cubierta por encima del techo de una edificación dejando un espacio entre ellos, el cual ayuda a desalojar el exceso de calor y humedad mediante ventilación cruzada, por su parte la segunda cubierta contribuye a disminuir las ganancias térmicas al formar un escudo contra la radiación solar y proporcionar sombra al techo principal.

La Figura 1 muestra de forma esquemática tres ejemplos de configuración de cubiertas ventiladas donde se observan fácilmente los elementos que las componen. Cabe señalar que los sistemas de doble cubierta son ampliamente utilizados en la arquitectura vernácula en muchas regiones de clima tropical, variando materiales y formas, pero siempre bajo los mismos principios funcionales.

El material de la segunda cubierta debe cumplir con ciertas características que lo hacen adecuado para que su desempeño térmico sea conveniente, como son los coeficientes de absortancia[1] (α) y transferencia de calor (K) bajos. El objetivo de este trabajo es exponer el potencial que poseen las láminas metálicas para utilizarse como segunda cubierta en los sistemas de doble cubierta ventilada y las ventajas del uso de dichos sistemas en las regiones de clima cálido.

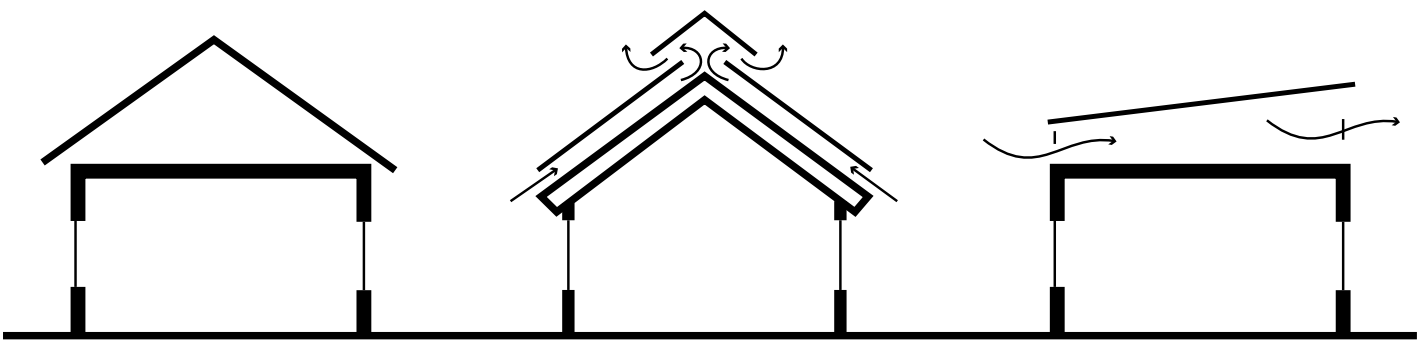

Figura 1. Ejemplos de cubiertas ventiladas.
Fuente: Stulz, R. (1980)

Estudios sobre sistemas de doble cubierta

Existen numerosas investigaciones sobre los sistemas de doble cubierta, también llamados techo escudo, techo frío, doble techo o techo sombreado; a continuación se mencionan algunos estudios representativos, donde se analizan sus características, comportamiento térmico y aplicación como sistema de enfriamiento pasivo en climas cálidos.

Morillón (1998) realizó un análisis experimental de un doble techo como escudo a la radiación solar durante las condiciones climáticas de verano en la ciudad de Guadalajara, con el objetivo de medir el efecto del techo escudo en el amortiguamiento de la temperatura interna de una habitación. En este estudio se analizó el comportamiento térmico de una bóveda catalana sobre la cual se colocó una lámina de asbesto de 5mm de espesor, inclinada 3° hacia el Este y levantada en ambos extremos para permitir la ventilación. Concluye que el techo escudo se comporta como un conjunto de capacitores conectados en serie, lo que permite amortiguar la oscilación de la temperatura, este amortiguamiento térmico puede disminuir los picos en las cargas térmicas de un equipo de aire acondicionado, así como la amplitud de la variación de la temperatura del aire en el interior de un espacio.

En otro análisis realizado por Pilar de Zalazar y Jacobo (2003), se compara el comportamiento higrotérmico de cubiertas ventiladas y no ventiladas para las condiciones climáticas tropicales del noreste argentino. El estudio del comportamiento higrotérmico teórico toma como universo de análisis a los techos de losa maciza, techos con cubierta de tejas cerámicas y techos con cubierta de chapa metálica. Concluye que todos los tipos de techo analizados comportándose como techos calientes (sin ventilación) o fríos (con ventilación), requieren de aislación térmica para que verifiquen en condiciones mínimas de confort. Reporta que los techos de losa de hormigón armado presentaron mejor comportamiento funcionando como techo frío al igual que los techos con cubierta de tejas cerámicas, y recomienda que para lograr el correcto comportamiento higrotérmico es necesaria la incorporación de una aislación térmica ubicada por debajo de la cámara de aire ventilada (Figura 2), porque sobre la misma, no colabora con la aislación térmica del componente.

> "...los techos de losa de hormigón armado presentaron mejor comportamiento funcionando como techo frío al igual que los techos con cubierta de tejas cerámicas..."

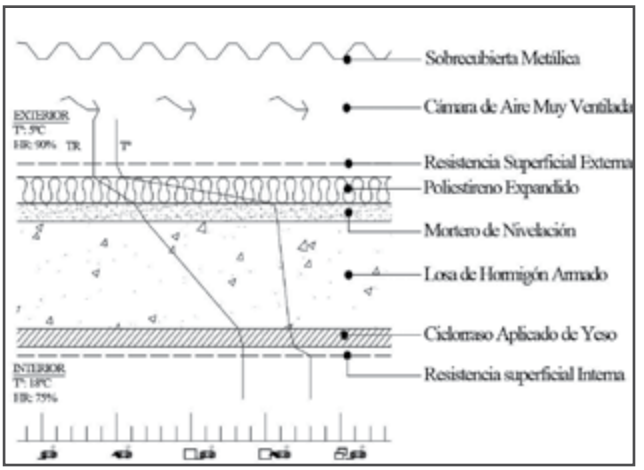

Figura 2. Techo ventilado de losa de hormigón armado y sobrecubierta metálica.
Fuente: Pilar, C. & Jacobo, G. (2001)

Shiraishi y Murakami (2004) examinan, mediante simulación acoplada de convección y radiación, cómo la carga de enfriamiento y el ambiente térmico interior de un espacio se pueden mejorar mediante la adaptación de un sistema doble techo con paso de aire. Concluyen que el doble techo se comporta adecuadamente como protección térmica en comparación con un techo común. El rendimiento del blindaje térmico del doble techo resultó de unas 8.6 veces mayor que la de un techo común en las condiciones de su análisis: un clima cálido húmedo del área monzónica asiática.

Guimarães (2008) presenta un estudio donde verifica la eficiencia de diferentes tipologías y materiales de la cubierta ventilada y no ventilada en una ciudad brasileña con clima cálido húmedo. En su análisis, mediante simulaciones numéricas, compara el desempeño térmico de materiales tradicionales (fibra de coco y madera) y materiales contemporáneos (tejas de barro, de amianto y metálica de acero) con forjados de madera, hormigón, PVC y placas de yeso acartonado, y todas sus composiciones posibles. Concluye que el hecho de introducir aire en la cubierta formando una cámara ventilada ayuda a que la temperatura media interior de un local no suba demasiado con relación a la temperatura media exterior. Los materiales que presentaron mejores resultados son los tradicionales, seguidos de las cubiertas con tejas de amianto y de acero con forjados interiores de madera. En este estudio se señala la importancia de la selección de materiales, tanto para la cubierta como para el forjado interior, con coeficientes de absortancia (α) y de transmisión de calor (K) bajos.

Por su parte Atherton (2011) realizó un estudio paramétrico para mostrar el efecto de la variación del área de ventilación en el comportamiento térmico y de control de la humedad en áticos de construcción estándar, con una segunda cubierta ventilada y con sistemas de barrera radiante, en un clima cálido y húmedo. El estudio demuestra que la variación del área de ventilación tiene un efecto menor sobre el control de la humedad y el comportamiento térmico de las cavidades de los áticos residenciales estándar. En comparación, los áticos equipados con barrera radiante o con doble cubierta ventilada proporcionan un mayor rango de control sobre la infiltración térmica y la humedad. Concluye que la doble cubierta ventilada proporciona mayor reducción en el flujo de calor a través de la cubierta del techo y mantiene menor fluctuación en la temperatura del aire del ático tanto en verano como en invierno.

Los estudios anteriormente citados coinciden en que con la ventilación del espacio entre cubiertas se logra un amortiguamiento térmico, al reducir la oscilación de la temperatura interna del espacio habitable y conseguir que ésta no rebase la temperatura exterior. En general, puede concluirse que con el uso de sistemas de doble cubierta en climas cálidos se proporciona a las edificaciones protección contra la radiación solar directa reduciendo así las ganancias térmicas.

Estudios sobre cubiertas metálicas con ventilación

Se sabe que los metales tienen una excelente propiedad física para conducir el calor, lo que no los hace justamente el material más idóneo para construcción en climas cálidos, sin embargo sus propiedades termo-físicas, como el tiempo de retardo térmico reducido y altos valores de emisividad y reflectancia solar de sus acabados, pueden utilizarse en favor del control climático en las cubiertas de las edificaciones, así lo demuestran investigaciones recientes realizadas en este campo, cuyos casos de estudio son cubiertas metálicas con ventilación.

Hernández (1998) presenta el diseño de un techo en lámina metálica para viviendas económicas en Venezuela, respondiendo a los requerimientos del clima tropical y de resistencia estructural y durabilidad, haciendo énfasis en factores importantes como el confort térmico, la producción y el ensamblaje. El diseño consiste en una correa de techo que permite el anclaje de láminas metálicas planas en su sección superior y en la inferior la colocación de un plafón deslizante de yeso cartón para configurar una cámara de aire ventilada. En las pruebas térmicas realizadas en un recinto de block de concreto con el sistema de techo en estudio y donde se propició la ventilación cruzada, reporta que la cámara de aire ofrece resistencia al incremento de la temperatura interna en las horas de mayor asoleamiento y, en las horas de menor temperatura, no permite el descenso de la temperatura del recinto a los niveles de la temperatura exterior, por lo que infiere que la cámara de aire tiene un efecto de aislamiento.

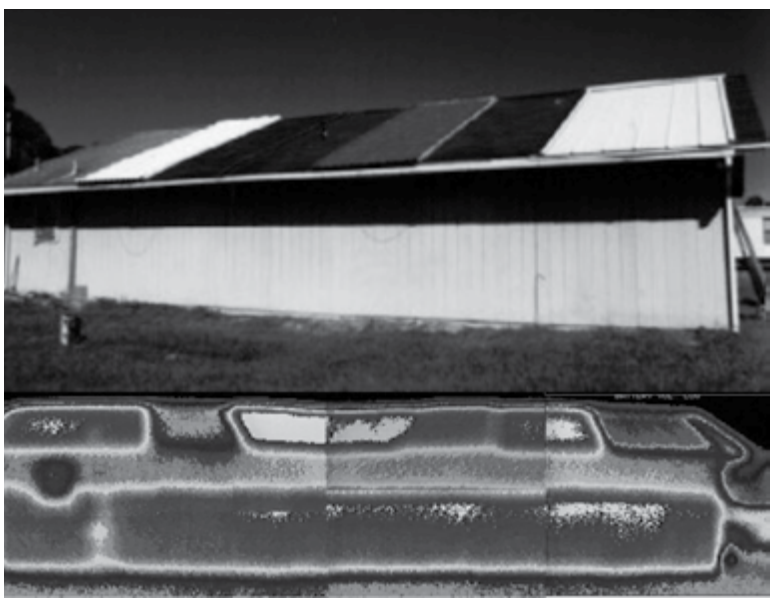

Figura 3. Celdas experimentales de ático con diferentes materiales (arriba) y termografía durante el verano de 2002 (abajo). Fuente: Parker, D., Sherin, J., & Sonne, J. (2004)

Parker (2004) hace un análisis sobre cómo impactan los sistemas de techo en el uso de energía para refrigeración residencial, asegura que el uso de cubiertas metálicas ha incrementado su popularidad y pueden ser comparadas con otros tipos de cubierta más tradicionales. Las pruebas fueron realizadas durante las condiciones climáticas de verano en Florida, sobre 5 celdas de un ático (Figura 3) con cubiertas de diferentes materiales y tiempo de vida: Galvalume®, tejas de asfalto negro, tejas metálicas color marfil con acabado reflectivo infrarrojo, galvanizado sin acabado y lámina metálica blanca; además una celda de control con cubierta de tejas de asfalto negro y ventilación por cumbrera. La configuración de cubierta con menor temperatura promedio en el ático fue la construida con doble cubierta ventilada de tejas de asfalto negro, barrera radiante y 6" de espuma aislante en la parte inferior de la cubierta interna, con 2 años de antigüedad y el ático sin ventilación. La segunda cubierta con mejor temperatura en el ático fue

la cubierta de metal blanco de 7 años edad con el ático ventilado, pero tuvo más bajas ganancias térmicas totales y un menor flujo de calor comparada con la cubierta del ático sin ventilación mencionada anteriormente, que tuvo el flujo de calor más alto de todas las estrategias probadas, lo que redujo su eficiencia general. El estudio concluye que la cubierta metálica blanca tuvo un 47% de reducción de las ganancias de calor del techo y el ático, y 15% de ahorro de energía para refrigeración comparada con la celda de control.

Otro estudio representativo es el realizado por Díaz (2012) en el clima cálido húmedo de la República Dominicana, en él examina de manera comparativa el comportamiento térmico de las cubiertas de acero galvanizado y algunas estrategias de protección térmica complementarias como la cámara ventilada y la aislación. Como conclusión enfatiza la necesidad de las estrategias de sub-cubiertas o cámaras de aire, cielorrasos o aislamientos térmicos para reducir la carga térmica entre el exterior y el interior de las edificaciones. Afirma que la solución de incorporar una cámara ventilada es la más efectiva para evitar que la temperatura superficial del cielorraso se eleve demasiado (ver gráfica de la Figura 4), y destaca la importancia de mantener coeficientes de absorción bajos en la superficie de las láminas metálicas para contrarrestar la desventaja de la rápida conducción de calor que poseen.

Cabe mencionar que entre los aportes que emanan de estas tres investigaciones, resalta la recomendación de utilizar láminas metálicas con un acabado de color claro o blanco para asegurar una baja absorción de radiación solar. Por otra parte también destaca el

"... la solución de incorporar una cámara ventilada es la más efectiva para evitar que la temperatura superficial del cielorraso se eleve demasiado..."

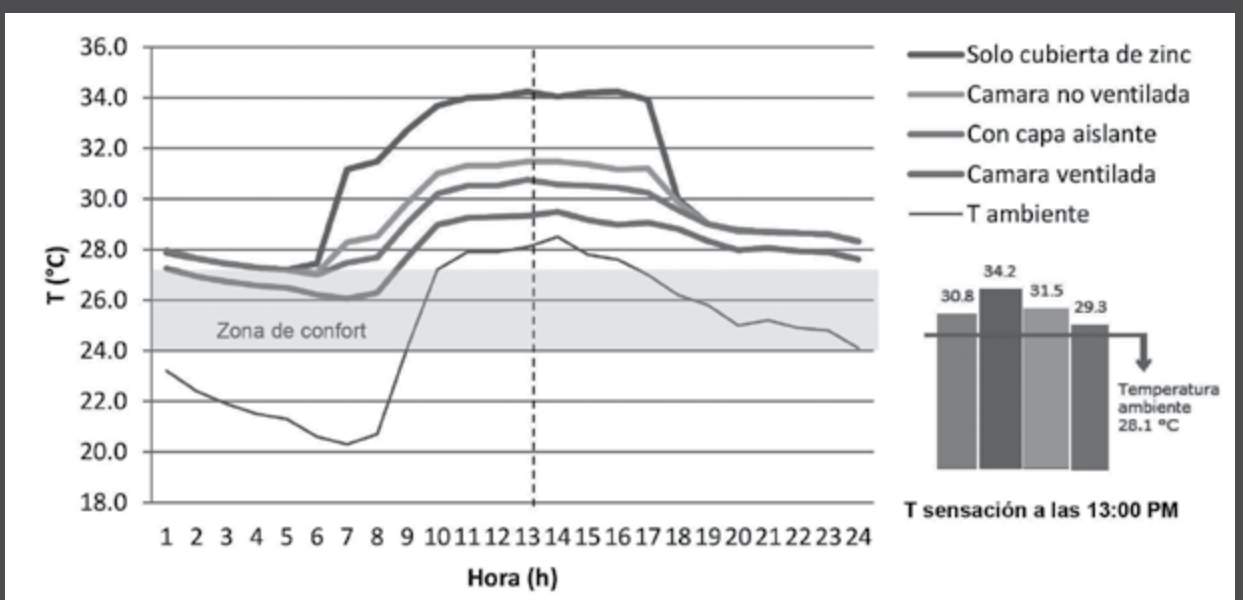

Figura 4. Comparación de temperaturas de sensación en diferentes configuraciones de cubierta metálica. Fuente: Díaz, O. (2012)

papel que desempeña el espacio ventilado entre cubiertas para reducir el flujo de calor, ya que el calor irradiado por las láminas metálicas es uno de los grandes problemas de su uso en cubiertas, pues en general no se toma ninguna previsión al respecto.

Para complementar los datos obtenidos sobre el comportamiento térmico de las cubiertas metálicas presentados en las tres investigaciones citadas, a continuación se hace una descripción más detallada sobre las propiedades termo-físicas de las láminas metálicas que las hacen aptas para su uso en los sistemas de cubierta, así como las ventajas que representan.

Propiedades termo-físicas de las láminas metálicas

Las láminas metálicas tienen la particularidad de ser un material muy delgado (entre 1 y 2mm de espesor), al carecer de masa apreciable no pueden acumular el calor y por lo tanto lo ceden casi de manera directa al ambiente, esta capacidad de liberar el calor absorbido es llamada emisividad. Todos los materiales tienen emisividades con valores que van de cero a uno, entre más bajo el grado de emisividad, menor es el calor irradiado de esa superficie, por ejemplo el concreto tiene una emisividad de 0.95, mientras que para el acero es de 0.12.

Otra propiedad de las láminas de metal son los altos valores de reflectancia solar, la reflectancia es la fracción de energía radiante que se refleja de una superficie que está siendo afectada por la radiación. La reflectividad y la emisividad están relacionadas, una emisividad baja es indicadora de una superficie altamente reflectante.

Las láminas metálicas tienen una amplia gama valores de reflectancia solar y emisividad térmica dependiendo del fabricante. Por lo general una superficie metálica sin pintar tiene una muy baja emisividad pero una relativamente alta reflectancia. Cuando se aplica pintura a la superficie aumenta la emisividad independientemente del color, sin embargo, la reflectancia puede variar en función del color y el tipo de pigmento, en el caso de las láminas metálicas color blanco el valor de la reflectancia solar es de entre 0.6 y 0.7 como mínimo.

En los últimos años, los techos con superficies con alta reflectancia solar y alta emisividad térmica (conocidos como cool roofs) han ganado una creciente atención como un potencial método de enfriamiento pasivo para frenar las ganancias de calor a través de las cubiertas opacas de los edificios (Zingre et al, 2015). De acuerdo con la CRRC (Cool Roof Rating Council), los cool roofs se refieren a superficies de techo con reflectancia solar de 0.55 y emitancia térmica (ε) de 0.75, condiciones que cumplen las láminas metálicas con acabado en colores claros.

Los rangos amplios de valores de reflectancia y emitancia que poseen las láminas, contrarrestan la desventaja de la rápida trasferencia de calor por conducción que posee el metal, estas propiedades pueden aplicarse al diseño de sistemas de techo para optimizar la eficiencia energética dependiendo del clima y la aplicación.

Ventajas del uso de las láminas metálicas en cubiertas

Una de las ventajas del uso de láminas metálicas, es la facilidad de mantener los bajos coeficientes de absortancia en su superficie, por medio de la limpieza continua o aplicando nuevas capas de pintura cuando sea necesario, y con esto no sólo se contribuye a la mejora del ambiente interior de las edificaciones, si no que a gran escala también es posible reducir el efecto de isla de calor en las ciudades al incrementar el albedo[2] urbano y reflejar y emitir gran parte de la radiación solar hacia la atmósfera. Un estudio realizado en 2010 por el Centro de Investigaciones para los Sistemas Climáticos de la Universidad de Columbia, reporta que por la simple sustitución de superficies de techo color negro por recubrimientos elastoméricos y membranas de color blanco, la temperatura de la superficie del techo puede reducirse hasta en 55°F (12.7°C). Por su parte Akbari, et al (2007) estiman que al reemplazar 100m^2 de techo oscuro por uno color blanco se contrarresta la emisión de 10 toneladas de CO_2 a la atmósfera gracias al ahorro energético para climatización.

Otro beneficio de los techos metálicos es su contribución a la sustentabilidad, ya que poseen una larga vida en comparación con materiales de origen orgánico al tener la capacidad de resistir la exposición prolongada a los elementos del ambiente y un bajo costo de mantenimiento. De acuerdo con datos de la Cool Metal Roofing Coalition (2010), los productos para techos de metal que se fabrican hoy en día tienen garantías de los fabricantes que duran de 20 a 50 años, además la mayoría de los productos han sido diseñados para que puedan ser restaurados en sitio para prolongar su uso una vez que su acabado original llega a al fin de su vida útil, los materiales para techos metálicos son reciclables al 100% y pueden ser removidos con facilidad.

La ligereza del material es otra propiedad importante, debido a su bajo peso los sistemas de techo metálicos tienen menos exigencias en materia estructural para un edificio, esto los hace una excelente opción para proyectos de modernización y para lugares propensos a la actividad sísmica.

Sistemas de doble cubierta metálica en la arquitectura contemporánea

Las láminas metálicas son utilizadas como segunda cubierta en la arquitectura contemporánea en edificaciones destinadas a distintos usos como escuelas o casas habitación, saliendo del esquema tradicional de techos inclinados a una o dos aguas; en los ejemplos presentados se incorporan armaduras metálicas para soportar las láminas metálicas sobre el techo principal y se utilizan grandes aleros para optimizar la protección solar. La Figura 5 (página siguiente) presenta cinco construcciones que incorporan sistemas de doble cubierta en lugares con clima cálido, si bien no se cuenta con datos específicos sobre su comportamiento térmico, es posible observar en todos los casos que el espacio entre cubiertas tiene una altura considerable y las edificaciones poseen configuración alargada, características que propician el paso libre del aire a través de las cubiertas.

(1) Surgical Clinic and Health Center / Burkina Faso

(2) Casa Cubierta Monterrey, México

(3) Centre de L'Architecture en terre / Mali

(4) National Park of Mali / Bamako / Mali

(5) Kangaroo Valley House / Sydney, Australia

Figura 5. Ejemplos de uso de láminas metálicas en sistemas doble cubierta para climas cálidos.

(1)Kere-Architecture. (2014). Surgical Clinic and Health Center, Burkina Faso [Fotografía]. Recuperado de http://www.kere-architecture.com/projects/clinic-leo/

(2)Garza Villareal, A. (2015). Casa Cubierta de Comunidad Vivex [Fotografía]. Recuperado de http://www.archdaily.mx/mx/773375/arquitectura-social-en-mexico-casa-cubierta-de-comunidad-vivex

(3)Baan, I. (2011). Centre de L'architecture en terre [Fotografía]. Recuperado de http://www.kere-architecture.com/projects/centre-de-larchitecture-en-terre/

(4)Baan, I. (2011). National Park of Mali [Fotografía]. Recuperado de http://www.kere-architecture.com/projects/national-park-bamako/

(5)Michael, A. (2005). Kangaroo Valley House [Fotografía]. Recuperado de http://www.houzz.es/photos/11359434/kangaroo-valley-house-moderno-fachada-sydne

Cada proyecto es diferente, como material de cubierta el metal ofrece gran flexibilidad y opciones para lograr las metas de diseño de cada edificio tanto en términos de estética como funcionalidad, las láminas metálicas no son la solución por sí mismas, sino que forman parte de un sistema y trabajan en conjunto con los demás elementos.

Conclusión

Las láminas de metal han sido un material de cubierta usado por siglos, actualmente están disponibles en una amplia variedad de sustratos, colores, texturas y perfiles; aunque en apariencia son muy diversas, las cubiertas metálicas tienen muchos atributos en común. La flexibilidad de diseño, combinado con la sostenibilidad, resistencia, durabilidad y bajo coste de ciclo de vida hace de las láminas metálicas el material adecuado para los sistemas de cubierta.

En los climas cálidos, donde la principal necesidad es minimizar las ganancias de calor en los techos, son deseables altos valores de reflectancia solar y emisividad térmica, que se pueden encontrar en las superficies de metal prepintadas con colores claros y/o pigmentos reflectantes de radiación infrarroja.

Como se ha visto a lo largo de este trabajo, con un diseño adecuado, los sistemas de doble cubierta ventilada utilizando láminas metálicas pueden contribuir al ahorro de energía mediante la reducción del efecto de la radiación solar directa sobre los techos y con ello las cargas de refrigeración en los edificios, además son un sistema constructivo de fácil implementación tanto en nuevas construcciones como sobre cubiertas ya existentes.

En términos de estética, sustentabilidad, eficiencia energética y confort de los usuarios, las láminas metálicas pueden tener un papel importante en muchos sistemas constructivos, como es la doble cubierta, si se comprende su funcionamiento para ser aplicados de la mejor manera.

Notas

1. Cociente entre el flujo radiante o luminoso absorbido por un cuerpo y el flujo incidente sobre él. La absortancia de un cuerpo negro es por definición igual a 1.
2. Fracción de la radiación solar reflejada por una superficie.

Bibliografía

Akbari, H., Menon, S., Rosenfeld, A. (2007). *Global Cooling: Effect of Urban Albedo on Global Temperature*. En 2nd PALENC & 28th AIVC Conference, Creta, Grecia.

Arif Kamal, M. (2012). *An Overview of Passive Cooling Techniques in Buildings: Design Concepts and Architectural Interventions*. Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture 55(1), pp. 84-97.

Biwole, P., Woloszyn, M., Pompeo, C. (2007). *Heat transfers in a double-skin roof ventilated by natural convection in summer time.* Energy and Buildings 40(8), pp. 1487–1497.

Cool Metal Roofing Coalition. (2010). *Cool Metal Roofin*g. Recuperado el 17 de abril de 2016, de http://www.wbdg.org/resources/coolmetalroofing.php

Del Angel Meraz, E., Falconi Calderón, R., Frías Márquez, D., López Gómez, F., Rueda de León Romero, J. (2008). *Corrosión atmosférica del acero galvanizado en Cunduacán, Tabasco*. Semana de Divulgación y Video Científico 2008. 731-736. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.

Díaz, O. (2012). *La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico y efecto en el confort del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana.* (Tesis de Maestría, Universidad Politècnica de Catalunya).

Fajardo Velasco, L. (2005). *Desempeño costo-beneficio de dos sistemas pasivos de climatización en cubiertas para climas cálidos-subhúmedo. Caso: Coquimatlán, Colima.* (Tesis de Maestría, Universidad de Colima).

Guimarães Merçon, M. (2008). C*onfort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo. Análisis térmico de la cubierta ventilada.* (Tesis de Maestría, Universidad Politècnica de Catalunya).

Hernández Santana, B. (1998). SITECH: *Una propuesta de techo en lámina metálica para la vivienda de bajo costo.* Tecnología y Construcción 14(2), pp. 47-61.

Kriner, Scott (2004). Cool Metal Roofing – *An emerging hot topic, para The Metal Initiative.* Recuperado el 17 de abril de 2016, de http://www.coolmetalroofing.org/elements/uploads/casestudies/TMI_CaseStudy_25.pdf

Morillón Gálvez, D., Morillón Gálvez, R., & De la Mora, A. (1998) *Comportamiento del techo escudo a la radiación solar en Guadalajara.* Memorias de la XXII Semana de Energía Solar, pp. 35-39. Mexicali, B. C., 1998.

Mukhtar, Y. (1978). *Roofs in hot dry climates with special reference to Northern Sudan*. Overseas Building Notes 182.

Oxford-Complutense. (1998). Diccionario de Física. Editorial Complutense, Madrid, España.

Parker, D., Sherin, J., & Sonne, J. (2004). *Comparative Summer Thermal Performance of Finished and Unfinished Metal Roofing Products with Composition Shingles*. Proceedings of the Fourteenth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates. Richardson, Texas.

Pilar de Zalazar, C., & Jacobo, G. (2003). *Estudio comparativo del comportamiento higrotérmico de cubiertas ventiladas y no ventiladas, para las condiciones climáticas de la región NEA.* En Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2003. Recuperado el 25 de septiembre de 2015, de http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2003/comunicaciones/07-Tecnologicas/T-014.pdf

Rosenzweig, G.C., Eichenbaum-Pikser J., Khanbilvardi R., & Susca T. (2010). *A Temperature and Seasonal Energy Analysis of Green, White, and Black Roofs. S. R.* Center for Climate Systems Research, Columbia University New York, pp. 8.

Shiraishi, Y., Murakami, S., Kato, S., Kim, T., & Ikaga, T. (2004). S*tudy on thermal shielding effect of double roofing with air passage by coupled simulation of convection and radiation.* Ponencia presentada en 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, Países Bajos.

Zingre, K.T., Wan, M.P., Wong, S.K., Toh, W.B.T., & Lee, I.Y.L. (2015). *Modelling of cool roof performance for double-skin roofs in tropical climate.* Energy 82, pp. 813-826. de http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.092