

Ciencia Nicolaita 87

ISSN: 2007-7068



Universidad
Michoacana
de San Nicolás
de Hidalgo

El vidrio con película óxido conductor transparente y su uso en un espacio habitable

Glass with transparent conductive oxide film and its use in a living space

David Álvarez Rodríguez, Haydee Pérez Castro,* Jorge Flores González y Violeta Escobar Ruíz

Para citar este artículo: Álvarez Rodríguez David, Pérez Castro Haydee, Flores González Jorge y Escobar Ruíz Violeta, 2023. El vidrio con película óxido conductor transparente y su uso en un espacio habitable. Ciencia Nicolaita no. 87, 79-87. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi87.634>



Historial del artículo:

Recibido: 23 de abril de 2022

Aceptado: 12 de octubre de 2022

Publicado en línea: abril de 2023



Ver material suplementario



Correspondencia de autor: dearqayd@gmail.com



Términos y condiciones de uso: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



Envíe su manuscrito a esta revista: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

El vidrio con película óxido conductor transparente y su uso en un espacio habitable

Glass with transparent conductive oxide film and its use in a living space

David Álvarez Rodríguez, Haydee Pérez Castro,* Jorge Flores González y Violeta Escobar Ruíz

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, México

Resumen

El presente artículo plantea la evaluación de dos películas de Óxido Conductor Transparente (TCO, por sus siglas en inglés), una a base de estaño y otra de indio, aplicada a los vidrios transparentes de uso común en las edificaciones. La valoración se llevó a cabo mediante modelos a escala: dos que albergaban a los vidrios con película y otro con vidrio transparente sin ningún tratamiento, este último como referente en la evaluación. Los vidrios fueron colocados a manera de ventanas de una habitación y estuvieron expuestos a la radiación solar directa. Se registró la temperatura al interior de los modelos y en el ambiente; aunque la diferencia no resultó significativa, se vislumbra la posibilidad de aplicación en sistemas pasivos que utilizan el sobrecalentamiento de espacios específicos.

Palabras clave: vidrio, película óxido conductor transparente, espacio habitable, indio y estaño

Abstract

This article proposes the evaluation of two Transparent Conductive Oxide (TCO) films applied to transparent glasses commonly used in buildings. One based on tin and the other on indium. The valuation was carried out using scale models, exposed to direct solar radiation, two that housed the glasses with film and another with transparent glass without any treatment, the latter as a reference in the valuation. The glasses were placed as windows in a room. Temperature data were recorded inside the models and in the environment. Although the temperature difference between the different cases was not significant, the possibility of application in passive systems that use the overheating of specific spaces is glimpsed.

Keywords: glass, transparent conductive oxide film, living space, indium and tin



Introducción

Las edificaciones han contado con una amplia gama de materiales aplicados a su envolvente, entiéndase esta como las partes que delimitan un espacio habitable del exterior, con la intención de salvaguardar a los usuarios de las condiciones climáticas como temperatura, lluvia, viento, humedad, etc. (Secretaría de Energía, *et al.*, 2001). Un elemento en particular son los vidrios de la edificación, cuya función es la de proporcionar iluminación natural. Sin embargo, el impacto de la radiación solar directa sobre ellos, provoca condiciones térmicas de calentamiento o sobrecalentamiento en las habitaciones (Restituyo Pérez, 2015), situación que puede ser benéfica o no a los usuarios. Este suceso ha provocado que se hagan adaptaciones a este material para favorecer o contrarrestar dichos efectos.

El estado de Tabasco presenta un clima cálido húmedo, con una temperatura media anual de 27.1 °C, una temperatura máxima promedio de 31.9 °C (Servicio Meteorológico Nacional, s. f.) y una humedad relativa promedio anual de 76% (Climate-data.org, s. f.). Tales condiciones provocan que en la época más cálida del año se presenten problemas de confort térmico en los habitantes. Por otro lado, en las viviendas se emplean vidrios sin tratamiento, lo que afecta la climatización y el confort térmico al interior de las edificaciones. Los efectos colaterales de las altas temperaturas al interior de los espacios generan:

- Requerimientos de altos consumos de energía eléctrica para satisfacer las necesidades de enfriamiento en las localidades de Tabasco, entre las 10:00 y 20:00 horas (Angulo-Córdova, Muñoz-Orozco & Barradas-Miranda, 2004).
- Baja productividad de los usuarios del espacio, cuando la necesidad de enfriamiento no es satisfecha en niveles óptimos (Molina & Veas, 2012).
- Gastos por mantenimiento y renovación de equipos de enfriamiento.

Las ventanas transparentes, que por su orientación quedan expuestas al sol, no proveen aislamiento hacia el interior y los usuarios experimentan una sensación de calor. Es por esta razón que se requieren vidrios

tratados con películas para disminuir el impacto del paso de la radiación solar.

Debido a lo anterior y con el afán de atender el problema del sobrecalentamiento en los espacios, se pretende explorar la aplicación de películas de Óxido Conductor Transparente (TCO) en la búsqueda de reducir los niveles de temperatura al interior de las viviendas. El estudio se enfoca en este tipo de edificación, ya que representa un área prioritaria para el desarrollo nacional (Ley de Vivienda, 2017).

Las películas con las cuales se experimentaron en el presente trabajo, han sido proporcionadas por el Cuerpo Académico “Síntesis y Caracterización de Nuevos Materiales” UJAT-CA-187, quien las tuvo como objeto de estudio en un proyecto anterior. Se trató de un proceso de innovación para la elaboración y aplicación de películas *in situ*, a base de óxido de estaño (SnO₂) en una de ellas y en otra con óxido de indio (ITO).

El vidrio con película TCO, hasta ahora, solo se ha utilizado en la industria de la electrónica, por ejemplo, en la producción de pantallas planas, celdas solares, ventanas inteligentes, hasta sensores para detección de algunos gases (Bedoya Calle, 2015). En el caso de las celdas solares, la aplicación de esta película mejora la producción de energía eléctrica, al optimizar el transporte de los electrones que son excitados al recibir la radiación emitida por el sol.

Convenientemente, las películas TCO presentan la propiedad de reflejar la radiación infrarroja emitida por el sol, además de tener cualidades de transparencia (Ramírez Ku & Cruz Escobedo, 2015). Esta investigación tiene por objetivo, mediante el análisis de gráficos, evaluar el comportamiento de la temperatura al interior de espacios habitables referente al empleo de películas TCO en los vidrios para amortizar las fluctuaciones de temperatura. Estudios como este permiten obtener información valiosa para optimizar el desempeño térmico de materiales transparentes utilizados en las edificaciones ubicadas en climas cálidos.

Materiales y métodos

El método de análisis se basó en el desarrollo de modelos experimentales. El estudio se llevó a cabo en la División Académica de Ingeniería y Arquitectura de



Figura 1. Vidrios con películas TCO.

la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ubicada en la ciudad de Cunduacán, Tabasco. La primera etapa consistió en la revisión bibliográfica acerca de los componentes y condicionantes de los materiales transparentes en los edificios. Se indagó sobre las aplicaciones que han tenido y los efectos de la radiación solar sobre ellos, dando una perspectiva para el diseño del experimento. En la segunda etapa se plantearon los modelos físicos a escala para realizar la simulación de un espacio habitable, fundamentado en que, desde 1975, se han usado cajas pequeñas para hacer pruebas comparativas y validar simulaciones (Moore, 1982).

Se definieron los modelos a escala 1:25 de un espacio real con dimensiones de 3.0 x 3.0 x 2.5 m, referentes a una recámara conforme a los requerimientos de habitabilidad y funcionamiento indicados en el *Reglamento de Construcción del Estado de Tabasco* (2008). La escala seleccionada respondió a que los vidrios suministrados solo podían fabricarse de manera *in situ* con medidas limitadas de 0.026 x 0.076 m y a la complejidad de aplicación de la película al tratarse de un proceso innovador para la Universidad. Cada uno de los modelos se diseñó con forma de prisma rectangular e incluye placas de poliestireno expandido con el fin de evitar la ganancia térmica a través del material que sirve de soporte a los vidrios y así generar una cámara aislada térmicamente, reduciendo al mínimo las variables a considerar en la evaluación. Se diseñaron tres modelos, los cuales permitieron visualizar una comparativa gráfica entre los valores obtenidos para cada tipo de vidrio (Figura 1).

El modelo 1 con vidrio natural, el cual fungió como elemento de referencia, el modelo 2 con película de óxido de indio (ITO) y el modelo 3 con óxido de estaño (SnO₂) (Figura 2).

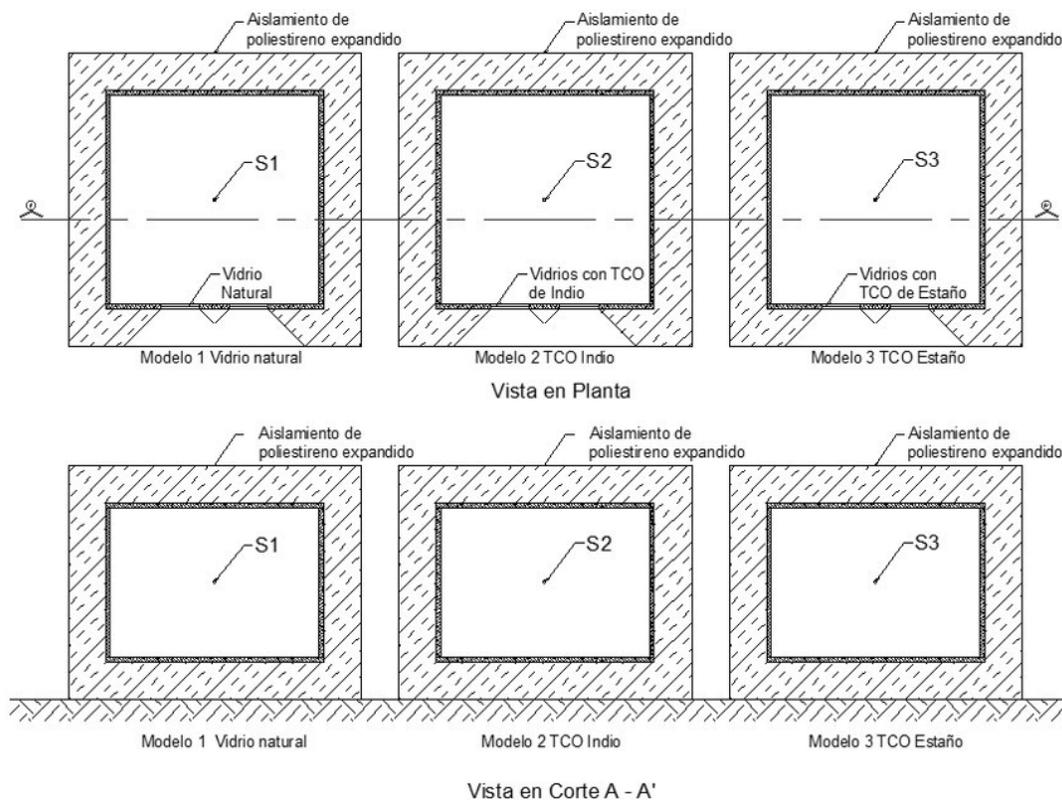


Figura 2. Planta y alzado de modelos con ubicación de sensores.



Figura 3. Etapas de construcción de los tres modelos.

Se construyeron con los mismos materiales con el fin de comparar sus comportamientos. Los materiales empleados en la construcción de los modelos fueron básicamente madera, vidrio y placas de poliestireno expandido (Figura 3). Se inicia con el corte de la madera, se colocan los vidrios en la cara correspondiente y, posteriormente, se ensamblan para formar la caja, finalmente, se forra con las piezas de poliestireno.

La evaluación de los modelos implicó la instalación de sensores Datalogger U12 (Figuras 2 y 4) con canal externo para el registro de datos de temperatura, unidad de medida en °C.



Figura 4. Datalogger U12 con canal externo.

Los registros de temperatura se efectuaron en los tres modelos al mismo tiempo, cada 15 minutos. Los sensores fueron ubicados al interior de cada uno de los modelos y otro en el exterior para tener como referente la temperatura ambiente.

Debido a que los vidrios solo tenían la película por una de las caras, se plantearon dos momentos en el proceso experimental: uno exponiendo la película hacia el interior y otro hacia el exterior.

A fin de evitar obstrucciones a la radiación directa, se seleccionó la losa de azotea del edificio del laboratorio ubicado dentro del campus de la universidad para ubicar el experimento. Se estableció que los meses para realizar la experimentación serían mayo y junio, por ser los que presentan los valores máximos de temperatura, según datos estadísticos. Con el fin de evitar que el calor almacenado en la losa afectara los valores de registro, los modelos se situaron sobre una placa de poliestireno, la cual funcionó como material aislante entre el concreto y los modelos.

Resultados

Para la presentación de resultados, solo se muestran los más representativos. Del primer momento, es decir, en el que la película está expuesta al interior, los resultados se encuentran representados en la Figura 5, donde se puede apreciar el comportamiento de la temperatura y visualizar la comparativa entre los modelos. Las temperaturas de los tres son semejantes, se observan líneas uniformes. La temperatura registrada al exterior de los modelos fue inferior. Por otro lado, los valores presentados por el modelo que albergó la película de estaño, se mantuvieron por debajo de la temperatura del vidrio con TCO de indio y el natural.

Los mismos datos fueron analizados en la Tabla 1, en donde se observa que la temperatura máxima en el interior del modelo con vidrio natural fue de 45.62 °C y la mínima de 41.76 °C; en el caso del modelo con película de indio, la máxima fue de 45.75 °C y la mínima de 41.44 °C; mientras que la máxima en el de película de estaño alcanzó 44.87 °C y la mínima resultó en 40.54 °C. En referencia a lo anterior, el modelo con TCO de estaño estuvo casi 1 °C por debajo de la temperatura del modelo con TCO de indio y del modelo con vidrio natural.

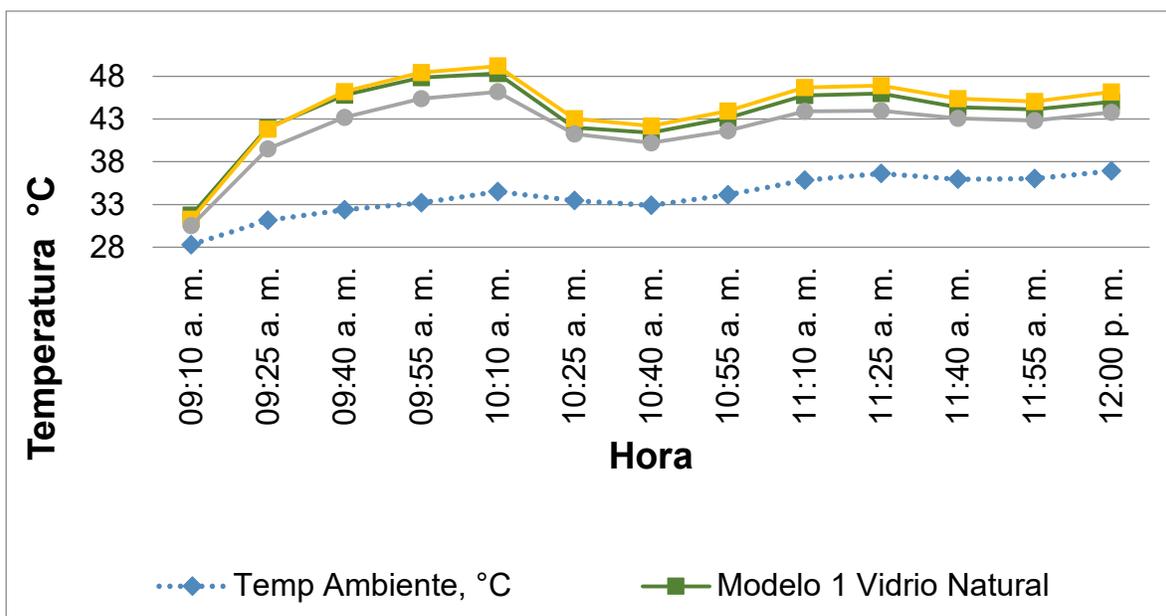


Figura 5. Registro de temperatura en los modelos con película al interior.

Los resultados del segundo momento, en el que la película está expuesta al exterior, arrojaron datos similares a la Figura 5, en el cual la temperatura exterior se mantuvo por debajo de las lecturas al interior de los modelos. A pesar de esto, en la Figura 6 se observa que la película de estaño continúa por debajo las temperaturas de la película de indio y el vidrio natural registradas; sin embargo, en esta ocasión se aprecia que la temperatura del modelo con TCO de indio, superó al vidrio natural y al TCO de estaño.

En la Tabla 2 se muestra que la temperatura máxima en el interior del modelo con vidrio natural fue

de 48.33 °C y la mínima de 31.74 °C; en el modelo con película de indio la máxima fue de 49.20 °C y la mínima de 31.25 °C; y en el de estaño la máxima alcanzó 46.19 °C y la mínima 30.52 °C. En esta ocasión, el TCO de estaño obtuvo una diferencia de 2 °C por debajo del vidrio natural y una diferencia de 3 °C por debajo del TCO de indio.

Los primeros resultados indican comportamientos similares entre el vidrio natural y la película de indio, con oscilaciones internas del espacio de hasta 12 °C entre el interior y la temperatura ambiente (Figuras 5

Tabla 1
Comparativa de modelos con película al interior.

| Hora | Temperatura Ambiente (°C) | Modelo 1 Vidrio Natural (°C) | Modelo 2 TCO Indio (°C) | Modelo 3 TCO Estaño (°C) |
|----------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 09:10:00 a. m. | 31.32 | 41.76 | 41.44 | 40.54 |
| 09:25:00 a. m. | 32.40 | 43.01 | 42.68 | 41.73 |
| 09:40:00 a. m. | 33.52 | 44.25 | 44.04 | 43.13 |
| 09:55:00 a. m. | 34.92 | 44.96 | 45.09 | 44.22 |
| 10:10:00 a. m. | 35.82 | 45.62 | 45.75 | 44.87 |
| 10:25:00 a. m. | 35.17 | 44.25 | 44.22 | 43.79 |
| 10:40:00 a. m. | 35.97 | 43.89 | 44.38 | 43.76 |
| 10:55:00 a. m. | 37.25 | 44.87 | 45.27 | 44.87 |
| 11:10:00 a. m. | 37.16 | 43.79 | 44.38 | 43.98 |
| 11:25:00 a. m. | 38.32 | 44.41 | 44.93 | 44.62 |
| 11:40:00 a. m. | 39.04 | 44.16 | 44.87 | 44.62 |
| 11:55:00 a. m. | 39.33 | 43.95 | 44.81 | 44.62 |
| 12:10:00 p. m. | 39.42 | 44.01 | 45.12 | 45.09 |

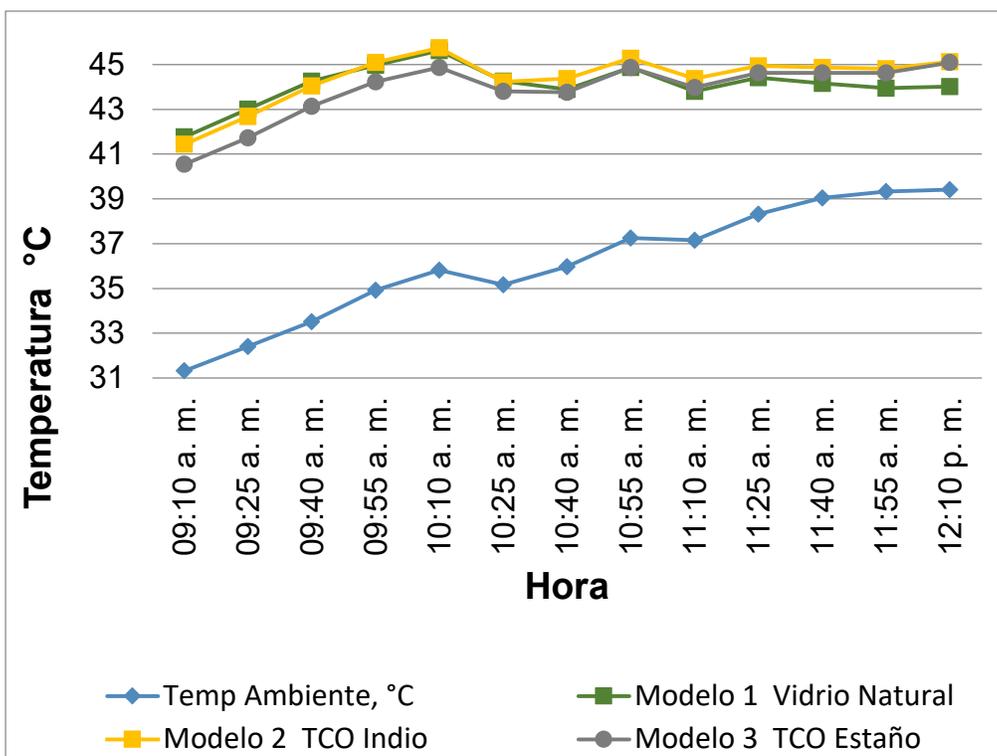


Figura 6. Registro de temperatura en los modelos con película al exterior.

Tabla 2
Comparativa de modelos con película al exterior.

| Hora | Temperatura Ambiente (°C) | Modelo 1 Vidrio Natural (°C) | Modelo 2 TCO Indio (°C) | Modelo 3 TCO Estaño (°C) |
|----------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 09:10:00 a. m. | 28.30 | 31.74 | 31.25 | 30.52 |
| 09:25:00 a. m. | 31.16 | 41.97 | 41.82 | 39.51 |
| 09:40:00 a. m. | 32.38 | 45.78 | 46.19 | 43.19 |
| 09:55:00 a. m. | 33.19 | 47.84 | 48.43 | 45.37 |
| 10:10:00 a. m. | 34.51 | 48.33 | 49.20 | 46.19 |
| 10:25:00 a. m. | 33.47 | 42.00 | 43.04 | 41.23 |
| 10:40:00 a. m. | 32.92 | 41.41 | 42.17 | 40.20 |
| 10:55:00 a. m. | 34.12 | 43.13 | 43.92 | 41.61 |
| 11:10:00 a. m. | 35.86 | 45.75 | 46.70 | 43.89 |
| 11:25:00 a. m. | 36.64 | 46.00 | 46.89 | 43.98 |
| 11:40:00 a. m. | 35.96 | 44.38 | 45.37 | 43.07 |
| 11:55:00 a. m. | 36.04 | 44.13 | 45.06 | 42.83 |
| 12:00:00 p. m. | 36.92 | 45.03 | 46.16 | 43.79 |

y 6). Se presentó el hecho de que, en la película de indio al exterior, después de transcurrido cierto tiempo, la temperatura presentó los más altos valores.

A partir de un análisis estadístico descriptivo de los datos en el software libre “R”, se obtuvo la información correspondiente a temperaturas mínimas, máximas, medias, medianas, primer y tercer cuartil (Tablas 3 y 4).

En la Tabla 4 se observa que la media de los modelos 1, 2 y 3 con película de TCO al exterior, se ubica entre 41.96 °C y 44.33 °C, mientras que en la Tabla 3, estos mismos modelos, pero con película al interior, oscilan entre 43.84 °C y 44.39 °C.

En los diagramas de caja (Figura 7) se puede apreciar que, tanto para el modelo de película interior

Tabla 3
Película interior.

| Temperatura Ambiente (°C) | Modelo 1 Vidrio Natural | Modelo 2 TCO Indio | Modelo 3 TCO Estaño |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|
| Min.: 31.32 | Min.: 41.77 | Min.: 41.44 | Min.: 40.54 |
| 1st Qu.: 34.92 | 1st Qu.: 43.89 | 1st Qu.: 44.23 | 1st Qu.: 43.77 |
| Median : 35.97 | Median : 44.16 | Median : 44.81 | Median : 44.23 |
| Mean : 36.13 | Mean : 44.08 | Mean : 44.39 | Mean : 43.84 |
| 3rd Qu.: 38.32 | 3rd Qu.: 44.41 | 3rd Qu.: 45.09 | 3rd Qu.: 44.63 |
| Max. : 39.42 | Max. : 45.62 | Max. : 45.75 | Max. : 45.09 |
| Min.: Mínimo Median: Mediana Mean: Media Max.: Máximo | | 1st Qu.: Primer cuartil 3rd Qu.: Tercer cuartil | |

Tabla 4
Película exterior.

| Temperatura Ambiente (°C) | Modelo 1 Vidrio Natural | Modelo 2 TCO Indio | Modelo 3 TCO Estaño |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|---------------------|
| Min.: 28.30 | Min.: 31.74 | Min.: 31.25 | Min.: 30.52 |
| 1st Qu.: 32.92 | 1st Qu.: 42.00 | 1st Qu.: 43.04 | 1st Qu.: 41.24 |
| Median : 34.12 | Median : 44.38 | Median : 45.37 | Median : 43.07 |
| Mean : 33.96 | Mean : 43.66 | Mean : 44.33 | Mean : 41.96 |
| 3rd Qu.: 35.96 | 3rd Qu.: 45.78 | 3rd Qu.: 46.70 | 3rd Qu.: 43.89 |
| Max. : 36.92 | Max. : 48.34 | Max. : 49.21 | Max. : 46.19 |
| Min.: Mínimo Median: Mediana Mean: Media Max.: Máximo | | 1st Qu.: Primer cuartil 3rd Qu.: Tercer cuartil | |

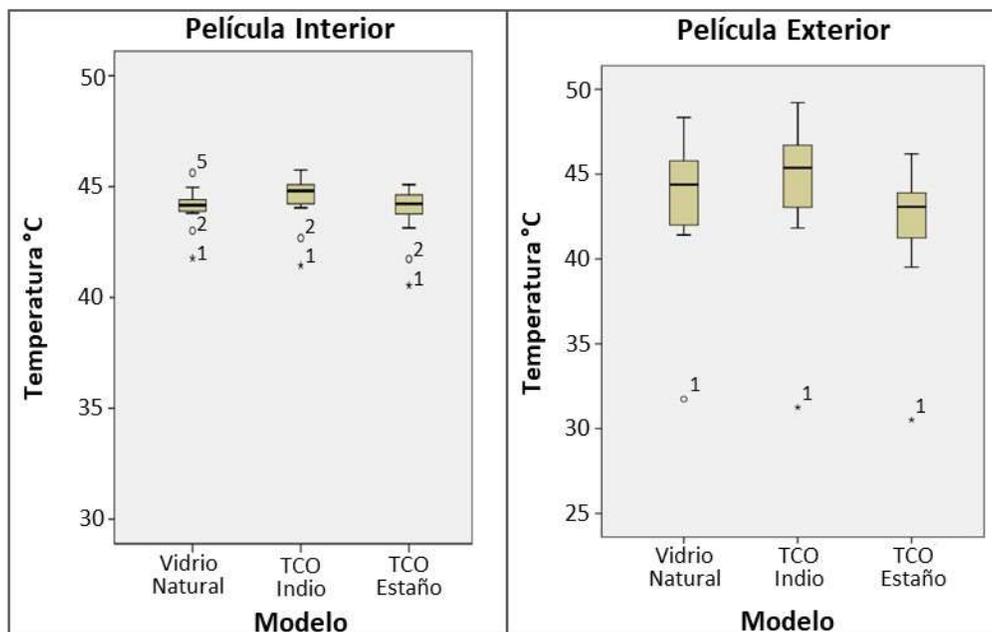


Figura 7. Comparativo de diagramas de caja.



como exterior, presentan un comportamiento semejante. Al evaluar las temperaturas que alcanzan en las distintas situaciones, se observa que los registros menores se presentan en el estaño, en el caso del vidrio natural los valores son intermedios, mientras que los registros más elevados se indican en el indio.

También se pudieron observar diferencias entre los registros de las películas al interior y al exterior, en los primeros los valores se concentran, mientras que en los segundos se distribuyen con una mayor amplitud.

Conclusiones

El vidrio con película de estaño con capa al exterior presenta los mejores comportamientos al paso de la radiación solar si se compara con el de indio. No obstante, esta diferencia solo llegó a alcanzar una disimilitud máxima de 3.02 °C, en el punto de los registros máximos alcanzados en los modelos. Datos que sobrepasan por mucho una temperatura de comodidad para el interior de un espacio.

En el caso de comparar el vidrio con película de estaño con capa al exterior con un vidrio natural, la diferencia disminuye y solo alcanza una disimilitud de 2.15 °C., lo que representa la misma observación del caso anterior.

En este estudio se observó que los vidrios con película exterior de indio presentan registros de temperatura mayores y, aunque este no era el ideal buscado, es posible que la aplicación de esta película mejore la captación de energía en sistemas pasivos, como la Chimenea Solar y el Muro Trombe, ya que ambos requieren calentar ciertas zonas del sistema para funcionar por convección.

Referencias

Angulo-Córdova, Q., Muñoz-Orozco, A. & Barradas-Miranda, V.L., 2004, Estudio del bioclima humano en dieciséis localidades del estado de Tabasco mediante el índice de confort temperatura efectiva: *Universidad y Ciencia*, 20(40), 69-80. <https://era.ujat.mx/index.php/rera/article/view/250/206>

Ayuntamiento Constitucional de Centro Villahermosa, 2008, Reglamento de Construcción del Municipio del Centro, estado de Tabasco, Capítulo II, Artículo 96: Mé-

xico, Ayuntamiento Constitucional de Centro Villahermosa. <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/TA-BASCO/Municipios/Centro/3REG.pdf>

- Bedoya Calle, A.H., 2015, Fabricación y caracterización de películas delgadas de óxidos transparentes con aplicaciones ópticas: Tesis Doctoral, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, 106 pp. <http://epri-nts.uanl.mx/10992/1/1080215490.pdf>
- Climate-data.org, s. f., "Clima Data. Clima Villahermosa (México)". <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/tabasco/villahermosa-3372/#climate-table>
- Diario Oficial de la Federación, 2019, "Ley de Vivienda. Art. 1. (Última reforma, 14 de mayo de 2019)". https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LViv_140519.pdf
- Molina, C. & Veas, L., 2012, Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno: *Revista de la Construcción*, 11(2), 27-38. <https://www.scielo.cl/pdf/rconst/v11n2/art04.pdf>
- Moore, Fuller, 1982, Passive Solar Test Modules: *Passive Solar Journal*, 1(2), 91-108.
- Ramírez Ku, V. & Cruz Escobedo, C.D., 2015, Evaluación de las propiedades térmicas de vidrios corning recubiertos con películas de tipo TCO compuestas de óxido de estaño dopadas de iones de indio ITO: Tesis de Licenciatura, *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*.
- Restituyo Pérez, R., 2015, Sistema de elementos de protección solar para la vivienda colectiva de interés social en el clima cálido-húmedo de Santo Domingo: Tesis de Maestría, *Universidad Politécnica de Catalunya*.
- Secretaría de Energía, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía & Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, 2001, "NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales". https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181648/NOM_008_ENER_2001.pdf
- Servicio Meteorológico Nacional, s. f., "Normales Climatológicas por Estado". <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=tab>