

1

**RECUBRIMIENTOS DE  
BAJA EMISIVIDAD:  
ESCUDOS PARA  
COMBATIR EL CALOR**

## Recubrimientos de baja emisividad: escudos para combatir el calor

*A. S. Sánchez-Ovando<sup>1</sup>, G. Zúñiga-Verdugo<sup>2</sup>, D. A. Mazón-Montijo<sup>3</sup>, Z. Montiel-González<sup>4</sup>.*

*<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería en Nanotecnología División industrial, Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ), Santiago de Querétaro, Querétaro de Arteaga, 76148, México. <sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, Baja California, 21100, México. <sup>3</sup>CONACYT-Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, Instituto Tecnológico de Nuevo León, Tecnológico Nacional de México, Apodaca, N. L. 66629, México. <sup>4</sup>CONACYT-Centro de Investigación de Materiales Avanzados, S. C., Unidad Monterrey, Apodaca, N. L. 66628, México.*

Aunque aún existe debate en cuanto a su origen, el calentamiento global es un fenómeno comprobado científicamente que ha estado llamando la atención en todo el mundo. Una de sus principales consecuencias, ha sido el cambio en la intensidad de las condiciones climáticas con que se viven las temporadas de frío y calor en muchas regiones del planeta, lo que ha provocado un incremento significativo en el consumo de la energía dedicada al uso de equipos para el control de la temperatura (climatización) en sitios como casas habitación, lugares de trabajo, centros comerciales, inclusive en el sector automotriz, por mencionar algunos<sup>1</sup>. La manufactura y el funcionamiento

de estos equipos genera residuos y subproductos de forma directa e indirecta, que podrían estar contribuyendo al calentamiento global, lo que nos tendría viviendo un círculo vicioso que, eventualmente, agravará aún más nuestra situación ambiental<sup>2</sup>. Por lo anterior, existe una fuerte necesidad de buscar soluciones que permitan soportar los cambios drásticos de temperatura y que contribuyan directamente a disminuir el consumo energético. Para minimizar el uso de estos equipos se ha recurrido a diferentes alternativas enfocadas, principalmente, a modificar las propiedades de los materiales que actualmente se utilizan en la construcción de edificaciones y automóviles.

El ejemplo más claro, lo representa el vidrio que es usado para proporcionar iluminación natural, protección contra diferentes agentes ambientales (viento, lluvia, polvo, etc.), decoración, entre otras funciones indispensables para interiores. En el caso específico del aislamiento de la temperatura externa, la protección que brinda el vidrio involucra fenómenos ligeramente más complejos que son posibles gracias a propiedades específicas de este versátil material. Para comprender con mayor claridad estos fenómenos, es necesario discutir aspectos generales del concepto de “calor”.

El calor es la forma en que se transfiere la energía, su principal fuerza motriz es la diferencia de temperaturas. Existen tres formas en que esta transferencia puede ocurrir: conducción, convección y radiación. Para la primera, donde el calor fluye a través del material mismo, el vidrio se comporta como un retardante térmico debido a que su conductividad de calor es baja; para la segunda, donde el flujo de calor se da por el movimiento de masas de aire frío/caliente, el vidrio proporciona una barrera que impide su combinación evitando cambios drásticos de temperatura. Por último, en la transferencia por radiación, donde la energía fluye en forma de ondas electromagnéticas (como la luz), el

vidrio por sí solo no cuenta con buenas propiedades para evitar que ocurra este fenómeno, lo que provoca que en climas muy calientes la temperatura de los interiores aumente y que el calor de los interiores se escape en climas fríos. Por ejemplo, en una edificación comercial, típicamente, la refrigeración y/o calefacción consumen alrededor del 30% del total de energía que necesita para funcionar adecuadamente. Según EE. UU., esto representa un monto aproximado de \$40 mil millones de dólares cada año<sup>3</sup>. Por otro lado, en países como España, ya se han implementado normas (UNE-EN 12.207:2000 y CTE-2013, por ejemplo) que indican que las ventanas de sus edificaciones deben ser fabricadas con “vidrios especiales” que permitan controlar el flujo de calor.

La principal fuente de radiación disponible en el ambiente es la luz del sol (Figura 1), por lo que, la selección de las

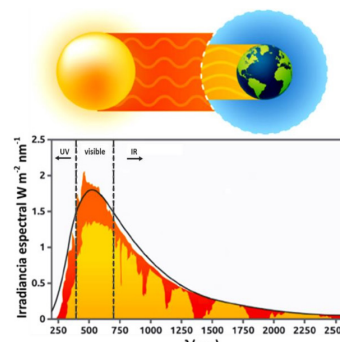


Figura 1. Espectro de la radiación solar sobre la tierra<sup>4</sup>.

posibles modificaciones que se le hagan al vidrio debe tomar en cuenta la forma en que interactúa el material resultante con esta luz, para evitar que otras funciones importantes del vidrio, como la de proporcionar iluminación, se vean comprometidas. La radiación solar está compuesta por ondas electromagnéticas de diferentes intervalos de longitudes de onda (Figura 1). Cada uno de estos intervalos, interactúa de una forma particular con el vidrio, por ejemplo, la iluminación natural que proporcionan las ventanas se da gracias a que el intervalo visible (380 - 780 nm) no sufre alteración alguna al atravesar el vidrio. Por el contrario, intervalos como el ultravioleta (UV, 10 - 380 nm) y el infrarrojo (IR, 780 - 1,000,000 nm) sufren fuertes cambios que también afectan al vidrio. Aunado a esto, cuando un cuerpo se encuentra a temperaturas cercanas a la del ambiente, la manera en que se disipa su energía interna es a través de radiación electromagnética correspondiente al intervalo de la región IR, especialmente, los sectores medio y lejano (MIR y FIR, siglas en inglés) que abarcan de ~3,000 hasta ~1,000,000 nm (Figura 2) y que son lo que comúnmente se conoce como sensación de calor.

La solución que aporta el campo de la Ciencia e Ingeniería de Materiales

ante esta situación, es la modificación de la superficie del vidrio a través de la aplicación de los recubrimientos conocidos como “de baja emisividad”<sup>5</sup>. La emisividad ( $\epsilon$ ) es una propiedad física de los materiales que indica que tanto calor emana de un material a una temperatura determinada, hablando específicamente de la transmisión de calor por radiación<sup>6</sup>. Esta propiedad depende de la longitud de onda de la radiación y sus valores van de 0 a 1, que indican el bloqueo total y el paso libre del calor, respectivamente. En los materiales de construcción, por ejemplo, se tienen valores de  $\epsilon$  (en el IR) de alrededor de 0.9 (como el concreto y la laca), el hierro fundido tiene un valor de 0.81 y el del vidrio es 0.84. Estos valores altos de  $\epsilon$  son la razón por la que las edificaciones y automóviles dejan pasar este tipo de calor y, por ende, su temperatura interior tiende a incrementar<sup>7</sup>.

Un recubrimiento se gana la denominación de baja emisividad considerando solo los intervalos MIR y FIR del espectro electromagnético (Figura 2). Los metales (plata, oro, etc.)<sup>7</sup> son los materiales que mejor cumplen con este requisito, puesto que los principales responsables de la  $\epsilon$  en esta región son los electrones libres (

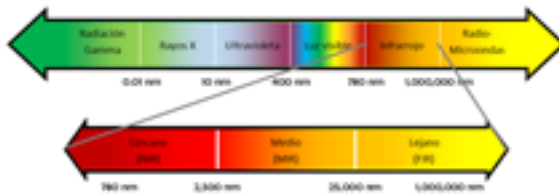


Figura 2. Espectro electromagnético (no a escala).

(cargas eléctricas negativas) y los metales son los materiales con la más alta concentración de estos. Sin embargo, su interacción con el intervalo visible puede comprometer la transparencia del vidrio por lo que su aplicación en este sentido queda limitada. Existe otra familia de materiales con propiedades atractivas que pueden sustituir a los metales en esta aplicación, estos son los óxidos conductores transparentes (TCO's, siglas en inglés), los cuales conservan la característica de transparencia del vidrio y se aproximan a las propiedades de baja emisividad de los metales. Entre ellos se encuentran el óxido de estaño, óxido de indio, etc.<sup>7</sup> A pesar de que se cuenta con estas opciones –incluso a nivel comercial en algunos países– existen otras limitaciones importantes que fomentan que se continúe la investigación en este campo. Algunas de estas limitaciones son:

- Baja estabilidad química: algunos de estos materiales se degradan

fácilmente al exponerlos al ambiente por lo que es necesario protegerlos aplicando otros recubrimientos que sean más estables, lo que hace más complejo el proceso de síntesis y eleva el costo de producción.

- Baja abundancia y alta toxicidad: algunos métodos de síntesis utilizan reactivos especiales y/o peligrosos, lo que directamente influye en el costo del producto final y en el efecto nocivo que se provoca al ambiente y a la salud;
- Métodos de síntesis complicados: la mayoría de los métodos de depósito de estos recubrimientos utilizan equipamiento sofisticado (condiciones de presión y temperatura especiales), lo que también repercute fuertemente en el costo del producto final.

Una vez entendidos tanto el problema como las posibles soluciones, el enfoque propuesto por el grupo de investigación de “Diseño y Optimización de Recubrimientos Avanzados (DORA- Lab)”, consiste en desarrollar materiales en forma de película delgada (recubrimientos entre 20 y 1000 nm de espesor, aproximadamente) que cumplan con todas estas exigencias planteadas para un recubrimiento de baja emisividad. Uno de los candidatos más prometedores ha resultado ser el sulfuro de cobre con la fase cristalina de la covelita (CuS)

en forma de película delgada, pues su naturaleza hace que contenga una alta concentración de cargas eléctricas positivas (provocadas por la ausencia de electrones y que son llamadas huecos) que son las responsables de la baja emisividad en la región IR, de manera análoga a los metales. Además, estas películas presentan una buena transparencia en el espectro visible (~50% de la luz que incide sobre ellas puede pasar), a pesar de que es un material de color verde. Sumado a todo lo anterior, el CuS también cuenta con la ventaja de que es un material que se compone de elementos de significativa abundancia, por ejemplo, en México se reportó una producción de ~39,000 ton de cobre y ~46,000 ton de azufre en el 2017<sup>8</sup>.

Existen varias formas para preparar recubrimientos de CuS, pero teniendo presente la importancia de considerar metodologías de síntesis con alta viabilidad de escalamiento, sencillas y amigables al ambiente, es como se implementan los métodos de depósito en solución tal como el SILAR (adsorción y reacción sucesivas de capas iónicas, siglas en inglés). Este proceso cíclico consta de cuatro pasos donde un vidrio limpio se va introduciendo secuencialmente en diferentes soluciones iónicas y de enjuague durante

un tiempo determinado (Figura 3) para formar un compuesto iónico sobre la superficie del vidrio al terminar un ciclo completo y para alcanzar el espesor deseado este procedimiento debe repetirse las veces que sea necesario<sup>9</sup>.

Actualmente en DORA-Lab, esta investigación se encuentra en su etapa de ciencia básica y los resultados obtenidos hasta el momento son promisorios para la aplicación en recubrimientos de baja emisividad, sobre todo en

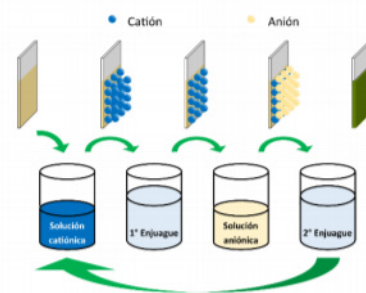
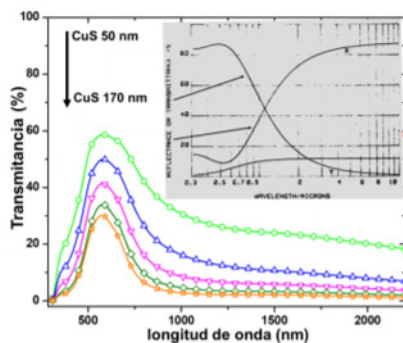


Figura 3. Esquema representativo del método SILAR.

situaciones donde el color del vidrio resulta ventajoso o de interés como en el caso de la arquitectura y decoración funcional para la fabricación de ventanas y edificios inteligentes. En la Figura 4, se muestran los espectros de transmitancia de un conjunto de películas de CuS obtenidas por SILAR con diferentes espesores, donde se puede apreciar el % de luz que puede

pasar a través de ellas en función de la longitud de onda. Además, comparando estos espectros con la transmitancia ideal de un recubrimiento de baja emisividad mostrada en el inserto, el CuS demuestra tener un comportamiento típico de este tipo de recubrimientos.



**Figura 4.** Espectros de transmitancia de películas de CuS con diferentes espesores<sup>9</sup>. Inserto: espectros de transmitancia, reflectancia y absorbancia de un espectro de baja emisividad ideal<sup>10</sup>.

Recientemente, el grupo está enfocado en optimizar la metodología de síntesis del material, estudiando el efecto de cada uno de los parámetros del SILAR para establecer un procedimiento que asegure repetibilidad y reproducibilidad en la fabricación de estos recubrimientos. Al mismo tiempo, se están estableciendo procedimientos que permitan llevar a cabo la caracterización óptica completa, especialmente en las zonas media y lejana del intervalo IR, con miras a dar el siguiente paso y llevar los recubrimientos a una aplicación real.

## REFERENCIAS

- [1] Ponce-Cruz Yy, Cantú-Martínez Pc. Cambio Climático: Bases Científicas Y Escepticismo. Culcyt. 2012;(46):5-12. [Http://Erevistas.uacj.mx/Ojs/Index.php/CUlcyt/Article/View/174/168](http://Erevistas.uacj.mx/Ojs/Index.php/CUlcyt/Article/View/174/168).
- [2] Méndez-Mungaray E. La industria maquiladora en tijuana: riesgo ambiental y calidad de vida. tijuana, baja california, mexico; 1984. [Http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/309/8/rce8.pdf](http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/309/8/rce8.pdf). accessed september 11, 2018.
- [3] Rissman J. Low-emissivity windows. Am Energy innov coun. 2013;(March):12.
- [4] Lira-Oliver A, Guevara-Mon Ab. Medicion De La Reflectancia Solar; La Reflectancia Solar Comoprosceso Determinante En La Temperatura Ambiente De Las Islas De Calory En La Climatizacion Natural Al Interior De Las Edificaciones. Mexico, México; 2017.
- [5] Olabarria J De. La Influencia Del Marco De La Ventana En La Calificación Energética Y En La Demanda De Energía De Los Edificios. San Sebastián, España; 2014.
- [6] Çengel Ya. Transferencia De Calor Y Masa, Un Enfoque Práctico. 3Rd Ed. (Roig-Vazquez Pe, Delgado-Rodríguez Al, Eds.). Reno, Nevada: Mcgraw-Hill Interamericana; 2007.
- [7] Stuart M. Una Guia Practica Para Emisividad En Inspecciones Ifrrojas. Uptime. 2016:42-46.

[8] Inegi. Estadística Mensual De La Industria Minerometalúrgica. Inegi. [Http://www.inegi.org.mx/Sistemas/Bie/](http://www.inegi.org.mx/Sistemas/Bie/). Published 2018. Accessed September 21, 2018.

[9] Ramírez-Esquivel Oy, Mazón-Montijo Da, Montiel-González Z, Aguirre-Tostado Fs. Deposition Of Highly Crystalline Covellite Copper Sulphide Thin Films By Silar. Phys Status Solidi Appl Mater Sci. 2017;214(12):1-8.

[10] Hutchins Mg. Solar Optical Materials, Applications & Performance Of Coatings & Materials In Buildings & Solar Energy Systems. 1988;(April):12-13.