

Universidad	Universidad Tecnológica de Pereira	
Programa Académico	Ingeniería Física	
Nombre del Semillero	Estudio de materiales y desarrollo de tecnologías para Calentamiento Solar	
Nombre del Grupo de Investigación (si aplica)	Grupo de investigación en propiedades magnéticas y magnetoópticas de nuevos materiales	
Línea de Investigación (si aplica)	Estudio de las propiedades físicas de materiales en aplicaciones con energías renovables y desarrollo, simulación y evaluación de sistemas térmicos con energía solar	
Nombre del Tutor del Semillero	Dra. Beatriz Cruz Muñoz	
Email Tutor	bcruz@utp.edu.co	
Título del Proyecto	Elaboración de absorbedores selectivos mediante la técnica dip-coating sol-gel para aplicaciones solares térmicas	
Autores del Proyecto		
Ponente (1)	Laura Andrea Florez Bedoya	
Documento de Identidad	1088323815	
Email	florezlaura@utp.edu.co	
Ponente (2)	Laura Estefanía Mora Joaquí	
Documento de Identidad	1083897054	
Email	lamorita_0410@hotmail.com	
Teléfonos de Contacto	3125119390-3175787409	
Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)	9 semestre	
MODALIDAD	PÓSTER <ul style="list-style-type: none"> Propuesta de Investigación 	
ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN (seleccionar una- Marque con una x)	<ul style="list-style-type: none"> Ciencias Naturales 	
	<ul style="list-style-type: none"> Ingenierías y Tecnologías 	X
	<ul style="list-style-type: none"> Ciencias Médicas y de la Salud 	
	<ul style="list-style-type: none"> Ciencias Agrícolas 	
	<ul style="list-style-type: none"> Ciencias Sociales 	
	<ul style="list-style-type: none"> Humanidades 	
	<ul style="list-style-type: none"> Artes, arquitectura y diseño 	

Propuesta de investigación: “Elaboración de Absorbedores Selectivos mediante la Técnica Dip-Coating Sol-Gel para Aplicaciones Solares Térmicas” 2

Laura Andrea Florez Bedoya¹, Laura Estefanía Mora Joaqui², Beatriz Cruz Muñoz³, Rubén Dorantes Rodríguez⁴

Resumen

A partir de la revisión bibliográfica de materiales utilizados como recubrimientos con aplicaciones en captadores solares, se estudiaron aspectos relacionados a la fabricación de películas delgadas desde la ruta química Sol-Gel como: variables del proceso, precursores, técnicas de caracterización estructural, mecánica y óptica. Se encontró que esta técnica de deposición presenta ciertas ventajas en relación a las tradicionales (depósitos a través de la ruta física), debido al barato costo de producción, a la densificación a bajas temperaturas, buen rendimiento, simplicidad del proceso y mínima infraestructura necesaria, razón por la cual se propone en este trabajo la síntesis, crecimiento y caracterización de precursores inorgánicos sobre metales como acero inoxidable, cobre y aluminio con el fin de obtener absorbedores solares selectivos.

Palabras clave. *Absorbedores solares, Deposición de películas delgadas, Dip Coating, Sol-Gel.*

1. Problema de investigación

Planteamiento del problema

Las cuestiones medioambientales en el contexto mundial han tomado un papel relevante ante la sociedad, la cual ha entendido la necesidad de adoptar el uso de energías renovables y sustituir los combustibles fósiles que están próximos a agotarse. Preferir el aprovechamiento de energías limpias como la energía Solar, se ha convertido en una opción tecnológica atractiva tanto económica como competitivamente, el desarrollo a la par de materiales que tengan una capacidad intrínseca mejorada de convertir radiación solar en otra fuente de energía o incluso que sean capaces de almacenar eficientemente energía, resulta en una contribución a la disminución de los fenómenos climáticos del mundo.

Para la generación de estos materiales, se debe considerar que el sol, como fuente inagotable y explotable, no produce un efecto negativo en el medio ambiente, motivo por el cual la construcción de tecnología basada en esta energía actualmente resulta de gran impacto.

Este trabajo pretende aportar a las diferentes áreas investigativas, con el estudio de absorbedores solares fabricados con precursores metálicos a diferentes relaciones molares mediante la técnica Sol-Gel con posibilidades de aplicación en el campo energético. Se desarrollarán recubrimientos de películas delgadas para la absorción de radiación solar en un amplio rango de su espectro (250-2500 nm), que de manera inherente ayude a la conversión y generación de energía eléctrica.

Pregunta de investigación

¹Ingeniería Física, 9 Semestre, Universidad Tecnológica de Pereira, florezlaura@utp.edu.co

²Ingeniería Física, 9 Semestre, Universidad Tecnológica de Pereira, lamorita_0410@hotmail.com

³Directora Grupo de Investigación GIMM. Universidad Tecnológica de Pereira, bcruz@utp.edu.co

⁴rjdr@correo.azc.uam.mx

De acuerdo al planteamiento del problema realizado anteriormente, se postula el siguiente interrogante³ de investigación:

¿Cómo optimizar o mejorar de manera eficiente las propiedades ópticas, mecánicas y estructurales de superficies metálicas usando la técnica de recubrimiento Sol-Gel (Dip coating), bajo valores constantes de las condiciones de deposición como velocidad y tiempo de inmersión, de manera que el resultado obtenido pueda ser aplicado en la construcción de colectores solares eficientes de baja o media temperatura?

2. Referente Teórico

Los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) representan actualmente un 81,2% del mercado energético mundial, su consumo ante la creciente demanda energética ha dado paso a problemas ambientales como el cambio climático y el efecto invernadero. Desde los diferentes compromisos y encuentros ambientales que han entrado en vigor en los últimos años, el COP21 (**Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2015**) ha puesto a Colombia a trabajar ante la lucha contra las emisiones de CO₂ y el aumento de la temperatura promedio global por encima de los 2 °C [1]; acorde a esto las energías renovables serán una fuente fundamental para muchos países que buscan alcanzar sus objetivos climáticos para 2030, y debido a la reducción considerable de los costos de los paneles solares, la energía solar se adopta rápidamente como la energía del futuro, lo cual queda demostrado con iniciativas en el campo investigativo cuyo fin radica en buscar la mejor relación costo-eficiencia en cuanto a la implementación de esta energía.

Los captadores solares convencionales de segunda generación son desarrollados mediante la implementación de películas delgadas para satisfacer las necesidades de eficiencia energética y el mantenimiento de los costos de producción. Las técnicas de fabricación alternativas como galvanoplastia y pulverización catódica presentan ventajas en cuanto a los resultados obtenidos y la temperatura de proceso con la que trabajan, sin embargo, los precursores utilizados suelen ser, altamente tóxicos, corrosivos y/o inflamables, además de requerir reactores y/o sistemas de deposición más sofisticados.

La técnica Sol-Gel, en cambio, puede proporcionar un método simple, económico y eficaz para producir revestimientos de alta calidad, precisamente porque el proceso da excelente control de la pureza del producto y su composición por el uso de materiales puros e incluso permite depositar películas en una gama variada de diferentes superficies, lo que consiente una flexibilidad que no está presente en muchos métodos de fase de vapor [2], razón por la cual este método parece ser un candidato sobresaliente para la fabricación de absorbedores solares selectivos. La clave para encontrar materiales ideales para convertir la energía solar en energía térmica o en electricidad resulta en la propiedad de absorber en su mayoría las longitudes de onda de luz del sol que alcanzan la superficie de la Tierra.

En “Structural and optical properties of CuMnCoOx spinel thin films prepared by a citric acid-based sol-gel dip coating route for solar absorber applications” [3], se estudió la optimización de la absorción de películas sintetizadas utilizando una variada relación molar de CuCoMnOx y ácido cítrico, cuyos resultados comprobaron que el método Sol-gel basado en ácido cítrico podría utilizarse para mejorar la capacidad característica de absorción solar de los óxidos metálicos de transición. La adherencia y estabilidad térmica obtenida llevaron a la conclusión de que estas películas pueden ser aplicadas en sistemas de conversión de energía solar térmica, debido a que los resultados de absorción y emitancia térmica de $\alpha=92-93\%$ y $\varepsilon=0.07$ respectivamente, son valores bastante aceptables para esta aplicación. Este artículo propone temperatura de inmersión-extracción (20 °C), velocidad de extracción (8 cm/min), temperatura de tratamiento térmico (500°C) y tiempo de deposición (60 min).

Así también en “Spectrally selective absorber coating from transition metal complex for efficient⁴ photothermal conversion” [4], se explica detalladamente cómo fue la elaboración de las películas delgadas CuCoMnOx como absorbentes selectivos sobre sustratos (aluminio, acero inoxidable y vidrio) por el método Dip Coating en donde la temperatura de los recubrimientos fueron de 20 °C, la velocidad de extracción fue 10-30 cm/ min, se secaron a una temperatura de 65 °C durante 1 hora y posteriormente se trataron térmicamente a 500°C usando una velocidad de calentamiento de 2,5 °C / min, obteniendo mediciones de sus propiedades ópticas, absorptancia y emisivancia térmica de $\alpha=80-81\%$ y $\epsilon=0.07$, respectivamente.

Las referencias anteriores se centran en la importancia del procedimiento y las variables de deposición, lo que influye en el planteamiento de la metodología de la investigación, al tener varios modelos de los protocolos usados en cada investigación, los cuales al llevarse a cabo llegaron al mejor resultado posible.

3. Objetivos

General

Depositar sobre superficies metálicas recubrimientos selectivos para aplicaciones solares térmicas a partir del uso de compuestos inorgánicos como óxidos metálicos de transición mediante la implementación del método Dip-Coating Sol Gel, y estudiar las propiedades ópticas, mecánicas, estructurales y de durabilidad obtenidas en estos recubrimientos.

Específicos

- Establecer una revisión bibliográfica y un conjunto de antecedentes respecto al desarrollo del tema, los cuales se usarán en la formulación de la metodología y en el análisis de los resultados.
- Escoger los compuestos que se utilizarán como material precursor.
- Calcular las reacciones estequiométricas de los compuestos inorgánicos que serán usados como precursor, buscando establecer las mejores condiciones para la síntesis.
- Sintetizar vía sol-gel los precursores químicos elegidos y depositarlos utilizando la técnica Dip coating sobre superficies metálicas como acero inoxidable SS 304L, cobre y aluminio.
- Caracterizar estructuralmente las películas obtenidas mediante los instrumentos disponibles al alcance del proyecto, Difracción de Rayos X (DRX), Microscopía Electrónica de Barrido y de Fuerza atómica (SEM y AFM).
- Caracterizar ópticamente los recubrimientos midiendo la reflectancia utilizando la norma ASTM E424-71 con el fin de obtener indirectamente la absorptancia.
- Caracterizar mecánicamente (brillo, dureza y adhesión) las películas utilizando las normas ASTM D3330-09, ASTM D4449-08 y ASTM D 3365-05.
- Realizar estudios de durabilidad del recubrimiento, mediante pruebas diseñadas para medir el efecto de la luz solar, la humedad y la temperatura (intemperismo acelerado).
- Evaluar los resultados acorde a lo que se busca obtener durante el proceso: un valor estimado de las propiedades ópticas (absorptancia y emisivancia) de las películas, un análisis morfológico y cristalográfico de la estructura formada a partir de la deposición y un análisis de durabilidad y resistencia.

4. Metodología

Para la implementación de los recubrimientos se requiere tener en cuenta cada aspecto de la deposición que pueda influir directamente en el resultado de la investigación, así como las herramientas necesarias para crear películas delgadas y poder obtener un resultado esperado de dicho procedimiento.

Se espera que la investigación se desarrolle conforme a cada etapa siguiente:

Etapa 1: Revisión bibliográfica y construcción de marco contextual: Corresponde a la descripción detallada del tema y a la organización sistemática de referencias comparativas las cuales se sitúan dentro de la fase conceptual del trabajo. Aquí se identifica, delimita y accede a la información condensada de acuerdo al objetivo del proyecto, como se muestra en los siguientes ítems:

- a) **Identificación de parámetros y condiciones de deposición pelicular.**
- b) **Elección de métodos de caracterización**

Etapa 2: Definición de precursores e insumos para la síntesis y cálculos estequiométricos: Se escogerán los precursores químicos a partir de la revisión bibliográfica, usando cálculos relacionados con la ecuación química del proceso se determinan los tipos de reactivos a usar y productos de la reacción en cierta relación o proporción estequiométrica dada en moles, se busca hacer un vigilancia de la composición controlando individualmente las condiciones del sistema (i) presión, (ii) velocidades de inmersión, (iii) el tiempo de inmersión, (iv) la temperatura de deposición y de tratamiento térmico y (v) la viscosidad del solvente, lo que logra ejercer un manejo «in situ» de la estequiometría del sustrato conforme se va logrando.

Etapa 3: Recubrimiento y crecimiento de películas delgadas: el sol compuesto de partículas coloidales se depositará sobre superficies metálicas de acero inoxidable SS 304L (limpiadas químicamente en un tratamiento a base de alcohol absoluto, acetona y agua desionizada). Para esto se utilizará un equipo de recubrimientos peliculares construido en el grupo de investigación basado en la técnica Dip Coating Sol-Gel, cuyo sistema automatizado de movimiento cuenta con operaciones de funcionamiento bastante precisos, garantizando un depósito constante. Posterior a este proceso, las películas obtenidas se someten a un tratamiento térmico de alta temperatura donde es posible relajar las tensiones inducidas o residuales en las capas formadas durante el crecimiento, además para evitar la posible formación de fases secundarias por reacción del producto con algún reactivo, se sigue el procedimiento a continuación:

- a) **Combinación de materiales en forma de suspensión coloidal**, bajo rangos de temperaturas que varían entre 40 °C y 100 °C usualmente.
- b) **Condensación de la solución**, que se evapora formando una resina o gel con un aumento considerable de viscosidad, en comparación al sol inicial.
- c) **Inmersión del sustrato a temperatura ambiente**, obteniendo recubrimientos a diferentes velocidades y tiempos de envejecimiento del sol.
- d) **Tratamiento térmico en cierta atmósfera de gas**, con el cual se asegura la uniformidad química del gel.

Etapa 4: Caracterización óptica, mecánica, estructural y de durabilidad: a partir de este procedimiento se permitirá identificar las propiedades físicas y químicas de la síntesis ya sea del tipo estructural, de textura y de composición. La caracterización de una película mediante distintos métodos, tiene como finalidad conocer cualitativamente y cuantitativamente cómo está constituida la microestructura formada en la superficie y qué transformaciones sufrió como consecuencia de una

reacción química anterior y un tratamiento térmico. De forma preliminar se realizarán las siguientes 6 caracterizaciones basados en las siguientes pruebas e instrumentos de medición:

- a) **Pruebas ópticas:** La caracterización óptica de las películas delgadas crecidas con diferentes parámetros se realiza a partir de medidas de la reflectancia. La determinación experimental de esta cantidad permite obtener de forma indirecta la absorptancia característica del material.
- b) **Difracción de rayos X (DRX):** resulta ser una identificación cualitativa del compuesto, donde se informa sobre el ordenamiento y espaciado de los átomos en estos materiales, basándose en su diagrama de difracción.
- c) **Microscopía electrónica de barrido y de fuerza atómica (SEM y AFM):** Estos instrumentos ayudan al análisis de características microestructurales de la capa absorbadora; brindan detalles morfológicos y topográficos de la superficie de los mismos.
- d) **Pruebas de intemperismo acelerado:** En estas pruebas se busca detectar una respuesta adversa de la película delgada en exposición al clima, se efectúa bajo tres factores: la radiación solar (energía luminosa), temperatura y agua (humedad). Evalúa la resistencia del material fabricado dando un estimado de su duración al momento de ser usado en la construcción de colectores solares.

Etapa 5: Análisis y evaluación de los resultados: con lo obtenido después de la experimentación y caracterización realizada se determina aquí si las condiciones de la capa absorbadora depositada cumplen con los valores ideales, tanto de la revisión de la literatura como de los antecedentes y resultados que el grupo de investigación ha obtenido anteriormente, se hará un análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas encontradas y se establecerán correlaciones entre ellas.

Etapa 6: Publicación en revista científica y participación en eventos científicos: se busca la divulgación y discusión de los resultados obtenidos, de manera que sea conocida por la comunidad académica, contribuyendo así al conocimiento científico universal.

5. Resultados esperados

- Se espera obtener capas o películas delgadas con alta absorptancia y baja emitancia térmica (ambas propiedades ópticas), además de una formación estructural y de composición acorde con el tipo de aplicación de estos revestimientos, en particular, estudios en el desarrollo de tecnología solar.
- Con el desarrollo de este proyecto de investigación, se espera proponer un material para el recubrimiento de películas delgadas que sean aplicadas en la construcción de colectores solares y conocer la eficiencia y uniformidad química derivada de la implementación de la técnica química Sol-Gel, bajo el control automatizado del proceso.
- De igual relevancia, se considera importante obtener como consecuencia del proceso investigativo la formación de personal estudiantil en la fabricación de materiales avanzados para la línea de desarrollo de tecnologías solares.

6. Impactos (Social, económico y ambiental)

- **Social:** Una de las ventajas de la técnica Sol-Gel suele ser la amplia gama de investigaciones en las que puede ser usada, desde la fabricación de anticorrosivos, semiconductores hasta su

incursión en el ámbito alimenticio/médico. En particular, los resultados obtenidos se espera sean⁷ aplicados a la construcción de absorbedores de colectores solares reduciendo de esta forma el costo comercial o de fabricación de los mismos, lo cual sería un aporte al campo de energías renovables y la lucha contra el cambio climático.

- **Económico:** La razón principal para implementar este proyecto mediante el proceso Sol-Gel en el Grupo de Investigación de Propiedades Magnéticas y Magneto-Ópticas de Nuevos Materiales (GIMM) recae en la economía del procedimiento, principalmente por la infraestructura no tan sofisticada que requiere y por los bajos costos en cuanto a materiales e insumos, lo que en relación costo-eficiencia de tal aplicación resulta provechoso para la investigación en el grupo al sólo demandar baja inversión.
- **Ambiental:** Las síntesis que se manejan por la técnica de Sol-Gel suelen ser viables ambientalmente debido a que es posible evitar el uso por completo de compuestos tóxicos que produzcan residuos que generen contaminación, además de que no perjudiquen la vida del estudiante y el entorno que maneja.

7. Bibliografía

- [1] García Arbeláez, C.; Barrera, X.; Gómez, R. y R. Suárez Castaño. 2015. El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21. 2 ed. WWF-Colombia. 31 pp
- [2] C. J. Brinker, A. J. Hurd, P. R. Schunk, C. S. Ashely, R. A. Cairncross, J. Samuel, K. S. Chen, C. Scotto and R. A. Schwartz, “Sol-Gel Derived Ceramic Films--Fundamentals and Applications”, in: K. Stern (Ed.), Metallurgical and Ceramic Protective Coatings, Chapman & Hall, London, 1996, pp. 112-151.
- [3] M. He and R. Chen, “Structural and optical properties of CuMnCoOx spinel thin films prepared by a citric acid-based sol-gel dip coating route for solar absorber applications,” *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 74, no. 2, pp. 528–536, 2015.
- [4] Pal, S., Diso, D., Franza, S., Licciulli, A., & Rizzo, L. (2013). “Spectrally selective absorber coating from transition metal complex for efficient photothermal conversion.” *Journal of Materials Science*, 48(23), 8268–8276. <https://doi.org/10.1007/s10853-013-7639-4>



Elaboración de Absorbedores Selectivos mediante la Técnica Dip-Coating Sol-Gel para Aplicaciones Solares Térmicas



Semillero de Investigación de Estudio de materiales y Desarrollo de Tecnologías para Calentamiento Solar
Grupo de Investigación en Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales
Departamento de Física, Universidad Tecnológica de Pereira,
Cra 27 #10-02 AA 97, Pereira, Colombia.



Laura Andrea Florez Bedoya florezlaura@utp.edu.co, Laura Estefanía Mora Joaquín laurita10e.mora@utp.edu.co, Beatriz Cruz Muñoz bcruz@utp.edu.co, Rubén Dorantes Rodríguez rjdr@correo.azc.uam.mx

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las cuestiones medioambientales en el contexto mundial han tomado un papel relevante ante la sociedad, la cual ha entendido la necesidad de adoptar el uso de energías renovables y sustituir los combustibles fósiles que se están agotando. Preferir el aprovechamiento de energías limpias como la energía solar, se ha convertido en una opción tecnológica atractiva tanto económica como competitivamente. Por lo tanto, el desarrollo de materiales que tengan una capacidad intrínseca mejorada de convertir radiación solar o incluso que sea capaz de almacenar eficientemente energía, resulta en una contribución a la disminución de los fenómenos climáticos del mundo. Para la generación de estos materiales, se debe considerar que el sol como fuente inagotable y explotable no produce un efecto negativo en el medio ambiente, motivo por el cual la construcción de tecnología basada en esta energía actualmente resulta de gran impacto. Este trabajo pretende aportar a las diferentes áreas investigativas, con el estudio de absorbentes solares fabricados con precursores metálicos a diferentes relaciones molares mediante la técnica Sol-Gel con posibilidades de aplicación en el campo energético. Se desarrollarán recubrimientos de películas delgadas para la absorción de radiación solar en un amplio rango de su espectro (250-2500 nm), que de manera inherente ayude a la obtención eficaz de calor térmico que pueda ser posteriormente utilizado por ejemplo en calentamiento de agua doméstico.

OBJETIVOS

ESPECÍFICOS

GENERAL

- Depositar sobre superficies metálicas recubrimientos selectivos para aplicaciones solares a partir del uso de compuestos inorgánicos como óxidos metálicos de transición mediante la implementación del método Dip-Coating (Sol Gel), y estudiar las propiedades ópticas, mecánicas, estructurales y de durabilidad obtenidas en estos recubrimientos.

1

- Establecer una revisión bibliográfica y un conjunto de antecedentes
- Cálculo de reacciones químicas

2

- Sintetizar vía Sol-Gel precursores químicos sobre superficies metálicas

3

- Caracterizar óptica, mecánica y morfológicamente las películas obtenidas mediante la disposición de diferentes equipos en diferente universidades.
- Obtener resultados acorde al proceso: Alta absorción y baja emittancia

METODOLOGÍA

Para la implementación de los recubrimientos se requiere tener en cuenta cada las siguientes etapas:

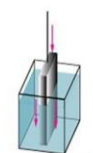


Figura 1.
Método Sol-Gel



Figura 2.
Recubrimiento por
método Pechini

Etapa 1: Revisión bibliográfica y construcción de marco contextual;

Etapa 2: Definición de precursores e insumos para la síntesis y cálculos estequiométricos

Etapa 3: Recubrimiento y crecimiento de películas delgadas

Etapa 4: Caracterización óptica, mecánica y estructural

Etapa 5: Análisis y evaluación de los resultados

Etapa 6: Publicación en revista científica y participación en eventos científicos

RESULTADOS ESPERADOS

- Se espera obtener películas delgadas o recubrimientos con alta absorción y baja emittancia térmica (ambas propiedades ópticas), además de una formación estructural y de composición acorde con el tipo de aplicación de estos revestimientos, en particular, estudios en el desarrollo de tecnología solar.
- Con el desarrollo de este proyecto de investigación, se espera proponer un material para el recubrimiento de películas delgadas que sean aplicadas en la construcción de colectores solares planos y conocer la eficiencia y uniformidad química derivada de la implementación de la técnica química Sol-Gel, bajo el control automatizado del proceso.
- De igual relevancia, se considera importante obtener como consecuencia del proceso investigativo la formación de personal estudiantil en la fabricación de materiales avanzados para la línea de desarrollo de tecnologías solares

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. He and R. Chen, "Structural and optical properties of CuMnCoOx spinel thin films prepared by a citric acid-based sol-gel dip coating route for solar absorber applications," *J. Sol-Gel Sci. Technol.*, vol. 74, no. 2, pp. 528-536, 2015.
- [2] C. J. Brinker, A. J. Hurd, P. R. Schunk, C. S. Ashely, R. A. Cairncross, J. Samuel, K. S. Chen, C. Scotto and R. A. Schwartz, "Sol-Gel Derived Ceramic Films--Fundamentals and Applications", in: K. Stern (Ed.), *Metallurgical and Ceramic Protective Coatings*, Chapman & Hall, London, 1996, pp. 112-151.