

Deposición y Caracterización de Películas delgadas CERMET por medio de la técnica CVD-AA con aplicaciones en tecnología solar

Sarah Hincapié Úsuga¹, Bayron Esteban Rios Bravo², Beatriz Cruz Muñoz³, Rubén José Dorantes Rodríguez⁴.

Resumen

En la presente investigación se estudia una de las partes más importantes de un colector solar que es su absorbedor con recubrimiento solar selectivo. Se propone no solo el estudio de un tipo de material específico que se depositará por medio de una técnica económica pero confiable, sino también su caracterización mecánica y óptica.

Los materiales que se proponen como absorbedores solares presentan alto potencial como recubrimientos selectivos solares y además ya han sido implementados en colectores solares y reciben el nombre de materiales CERMET (materiales cerámicos-metálicos). Una técnica que se ha implementado desde hace mucho tiempo para depositar películas delgadas y que es la que se desea emplear en la investigación, es la técnica de deposición química de vapor asistida por aerosol (AACVD por su nombre en inglés); técnica que es confiable y que permite obtener películas delgadas de materiales CERMET con características óptimas para la fabricación de colectores solares. Mediante la implementación de la técnica se esperan obtener recubrimientos de materiales CERMET con una selectividad solar alta, es decir, recubrimientos que presenten una alta absorción del espectro solar y que tengan pérdidas mínimas por radiación térmica. Para medir la selectividad solar se hace necesario calcular la absortancia y la emitancia térmica del material. Además, se plantea la implementación de distintas técnicas de caracterización morfológica y métodos de evaluación de durabilidad y desempeño en los recubrimientos para clasificarlos como aptos o no en la construcción de colectores solares.

Palabras claves: AACVD, Absortancia, CERMET, Emitancia, Selectividad Solar.

1. Introducción

En la actualidad la mayor parte de la energía eléctrica se obtiene por medio de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), recursos no renovables que además de presentar un impacto ambiental negativo, no garantizan un cubrimiento total de la demanda de energía generada por el crecimiento de la población y la industria. Es por eso que las energías renovables (como la eólica, la solar, la azul y la térmica), y todos los elementos involucrados en ellas, se han convertido en una prioridad en las áreas de investigación, innovación y fabricación de tecnología.

¹ shusuga@utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira.

² esrios@utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira.

³ bcruz@utp.edu.co, Universidad Tecnológica de Pereira.

⁴ rjdr@correo.azc.uam.mx, Universidad Autónoma Metropolitana.

A nivel mundial la obtención de energía solar ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan [1].

Los materiales cerámicos-metálicos (CERMET) representan uno de los grupos de componentes que han sido extensamente estudiados por las propiedades que tienen para transformar la radiación solar en energía eléctrica y calórica por medio de paneles fotovoltaicos y colectores solares. Películas delgadas de CERMET pueden ser sintetizadas por métodos como Baño Químico (CBD), Deposición Química de Vapor (CVD), Evaporación térmica, Electron Beam Evaporation y Sputtering [2]. Al hacer un recubrimiento se pueden diferenciar variadas etapas: la capa anti-reflectiva (ARC) elimina la reflexión solar sobre la superficie, el CERMET provee absorción selectiva y la capa IR (típicamente Cu, Al, Mo, u otro metal con baja emisividad intrínseca) reduce las pérdidas por radiación. El sustrato es usualmente un metal (para conducir bien el calor) o vidrio (por bajo costo en su caracterización óptica.) [3]

Se deberán analizar los materiales depositados por CVD al variar los parámetros de depósito para identificar si cumplen los requerimientos de alta absorptividad y baja emisividad, y las propiedades mecánicas de dureza, adhesión y resistencia, lo que conlleva una vida útil mayor del colector.

2. Planteamiento de la pregunta de Investigación

En el grupo de investigación de Propiedades Magnéticas y Magnetoópticas de Nuevos Materiales (GIMM) de la Universidad Tecnológica de Pereira se llevó a cabo un estudio comparativo de las propiedades ópticas, mecánicas y de durabilidad entre dos pinturas denominadas Epóxico de marca mexicana y Acrílico de marca colombiana (Pintuco) como recubrimientos absorbedores, depositados en sustratos de cobre y aluminio, para ser posteriormente empleados en colectores solares. Luego estos colectores fueron instalados en un centro educativo mexicano para calentar el agua de una piscina [4]. Debido a la necesidad de mejorar las propiedades ópticas de estos colectores solares se ha querido implementar una técnica diferente para depositar otra clase de materiales. Dentro de las técnicas de deposición de películas delgadas se ha encontrado que existe un método confiable y económico, se trata de la técnica CVDA (deposición de vapor químico asistida por aerosol) implementada en numerosos laboratorios alrededor del mundo; entre ellos, existe uno en la Universidad Nacional de Colombia donde se construyó e implementó un equipo de CVDA como parte de un trabajo de maestría [5]. En lo que compete a los materiales implementados en este proceso y sus aplicaciones, se ha encontrado que las matrices de materiales cerámicos con la adición de refuerzos de partículas metálicas (materiales CERMET) son fuertes candidatos a ser líderes en la construcción de recubrimientos para colectores solares debido a sus excelentes propiedades ópticas (absortancia y emitancia) y estabilidad térmica [6] y además pueden ser depositados fácilmente por la técnica en mención.

Todo esto nos lleva a preguntarnos:

¿Cuál es el mejor material tipo CERMET que puede ser depositado por la técnica CVD asistido por aerosol para que presente las propiedades ópticas, morfológicas, térmicas y de intemperismo idóneas que permitan su implementación como recubrimiento en absorbedores de colectores solares?

3. Justificación

La energía producida por el sol es abundante y en tiempos de cambio climático es pertinente aprovechar ésta fuente de energía limpia. Una manera de aprovechar la radiación del sol es mediante colectores solares y paneles solares fotovoltaicos que se implementan para hacer la conversión de luz solar a energía útil para el ser humano; siendo los colectores solares mucho más eficientes que los paneles fotovoltaicos, con una eficiencia del 80% y 15% respectivamente (dentro del contexto de uso doméstico) [7]. Ésta alta eficiencia se encuentra gracias a que el recubrimiento superficial de los colectores está hecho de materiales que absorben un gran rango del espectro solar y que son excelentes conductores térmicos, a su vez, pueden también soportar altas temperaturas de trabajo y no empeorar sus propiedades ópticas al transcurrir del tiempo o debido a condiciones ambientales (salinidad, humedad, entre otras).

Los colectores solares son relativamente económicos y fáciles de construir, su mantenimiento es barato y además nuevas tecnologías se han estado desarrollando en los últimos años para mejorar su desempeño. Uno de éstos desarrollos es la identificación de materiales con alto potencial para ser implementados como recubrimientos selectivos solares; los materiales tipo CERMET son resistentes a distintas condiciones climáticas, tienen una aceptable resistencia al calor, estabilidad y características morfológicas ideales que hacen de éstos materiales los candidatos ideales como absorbedores en colectores solares [8]. De acuerdo a la revisión bibliográfica se ha encontrado que utilizando esta técnica de depósito y materiales Cermet se obtienen recubrimientos que absorben el 91.5% (absorbancia) del espectro solar y reflejan en forma de calor tan sólo el 3% (emitancia térmica) ofreciendo una alta selectividad solar (relación absorbancia/emitancia) [9]; por lo tanto, se puede afirmar que al combinar la técnica en mención y los materiales tipo CERMET se pueden obtener resultados que sean confiables y beneficiosos para los recubrimientos que se emplean en la tecnología solar térmica.

4. Objetivos

General: Depositar recubrimientos selectivos a base de materiales CERMET utilizando la técnica CVDA que cumplan las características ópticas de baja emitancia en el infrarrojo y alta absorbancia en el ultravioleta; además, que presente propiedades mecánicas adecuadas como: alta dureza y muy buena adhesión y resistencia al intemperismo.

Específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica para aclarar antecedentes acerca del funcionamiento de la Técnica de Deposición Química de Vapor asistida por aerosol.
- Definir precursores, solventes y concentración de los materiales CERMET. Además, variar las condiciones de depósito tales como: temperatura del sustrato, flujo, tiempo y velocidad de depósito.
- Depositar los materiales CERMET en sustratos de cobre, aluminio y acero.
- Caracterizar las propiedades ópticas, mecánicas y estructurales del material depositado por medio de Espectroscopia UV-VIS, Microscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR), Difracción de Rayos X (XDR), Microscopía

Electrónica de Barrido (SEM), Microscopía de Fuerza Atómica (AFM), y Espectroscopía Raman.

5. Referente Teórico

La división de las técnicas de deposición empleadas en la obtención de películas delgadas puede hacerse en dos grandes grupos: deposiciones físicas y deposiciones químicas [10]. Dentro de las técnicas de deposición química está la técnica de Deposición Química de Vapor (CVD por su nombre en inglés: *Chemical Vapor Deposition*). Hoy en día la técnica es ampliamente usada en la deposición de materiales para diversos fines como: semiconductores, celdas solares fotovoltaicas, capas antireflectivas o absorbedoras en colectores solares, entre otras. Para la implementación de la técnica de CVD no se requiere de muy alta tecnología o de equipos de alto costo.

Los materiales que pueden ser depositados por la técnica que sirven para ser implementados en superficies selectivas solares pueden ser de diferentes tipos, algunos son: semiconductores (Si, Ge y SixGex), dieléctricos (Al₂O₃, SiC, TiN, y ZrO₂), metales (Pt, W, Au y Cu). Sin embargo, algunos de los materiales CERMET más utilizados como recubrimientos selectivos solares presentan en su mayoría matrices de Cr₂O₃, Al₂O₃, AlN, SiO₂ y ZrO₂ con incrustaciones de otros elementos como Co, Fe, Mo, entre otros, que mejoran su desempeño como materiales selectivos solares [12].

La combinación de CVD-CERMET ha arrojado resultados favorables ya que se han logrado obtener películas delgadas con una alta selectividad solar, es decir, proporcionan una alta absorción del espectro solar sin que se tengan muchas pérdidas por emisión térmica. En el caso de Mihaela Voinea [13] se implementó la técnica del CVD para depositar CERMET en base de cobre (Cu/CuO_x) para obtener unos resultados de alta absorptancia y baja emitancia lo que se traduce en una selectividad solar alta de S=13 que sería ideal para la implementación en colectores solares. Otro material CERMET que presenta alta selectividad solar es el compuesto por Alúmina y Níquel con una selectividad solar de S=30 [14]. La mejor manera de saber si una película delgada es apta para la aplicación en tecnología solar, exactamente en colectores solares, es conocer la absorptancia y la emitancia del material del cual está compuesto el recubrimiento. Las medidas de absorptancia y emitancia se hace indirectamente haciendo uso de la reflectancia del material que puede ser medida fácilmente empleando un espectrofotómetro. El cálculo mediante el cual se relacionan reflectancia-emitancia-absorptancia puede hacerse mediante la ecuación (1) para la absorptancia y la ecuación (2) que representa la emitancia:

$$\alpha_s = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{sol}(\lambda)(1-R(\lambda))d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{sol}(\lambda)d\lambda} \quad (1)$$

$$\varepsilon_t = \frac{\int_{\lambda_2}^{\lambda_3} I_p(\lambda)(1-R(\lambda))d\lambda}{\int_{\lambda_2}^{\lambda_3} I_p(\lambda)d\lambda} \quad (2)$$

Dónde $R(\lambda)$ es la reflectancia en función de los valores de longitud de onda entre los que se midió ésta propiedad, $I_{sol}(\lambda)$ es la irradiación solar según la ISO estándar 9845-1 (1992)

[15] e $I_p(\lambda)$ es la energía del cuerpo negro que debe ser calculada de acuerdo a las temperaturas que se desean usar para hacer las pruebas en los recubrimientos.

6. Metodología, enfoque y tipo de investigación

Para llevar a cabo el proyecto, se deben seguir las siguientes etapas:

ETAPA 1: Revisión bibliográfica: los temas que se deben estudiar los hemos dividido en: a) Funcionamiento de la técnica CVDA, b) parámetros físicos de depósito y c) técnicas de caracterización de las propiedades importantes a la aplicación deseada.

a. Funcionamiento de la Técnica CVD-AA

La técnica de depósito químico de vapor (CVD) asistido por aerosol consiste en (i) un proceso de atomización de la solución precursora, la cual genera gotas que se envían (por medio de un gas portador) con cierta velocidad inicial hacia la superficie de un sustrato, (ii) el proceso de transporte de la pulverización de la gota, donde se tiene como objetivo trasladar tantas gotas como sea posible a la superficie del sustrato y (iii) la descomposición del precursor sobre la superficie del sustrato, el precursor se mueve a través del ambiente calentado exponiéndose a diversos cambios físicos y químicos, los cuales dependen del tamaño de la gota y la temperatura ambiente. El material depositado crece a partir del vapor de gotas que pasa muy cerca del sustrato caliente en forma de deposición de vapor químico y las gotas que golpean el sustrato forman un depósito de polvo [16].

En la figura 1 se muestra cómo funciona el sistema de depósito.

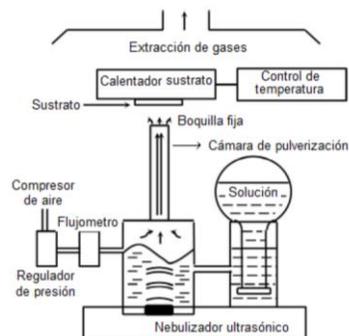


Figura 1. Esquema de la Técnica Deposición Química de Vapor [17]

En este caso la función de boquilla la realiza una tobera de acero inoxidable que se mueve de forma periódica a lo largo del sustrato para una mejor deposición.

b. Parámetros usuales de Deposición

Una búsqueda por la revisión bibliográfica revela que ciertos parámetros son adecuados al momento de realizar una buena deposición, estos son: número de secuencias, tiempo entre secuencias, temperatura del sustrato, distancia de la tobera al sustrato, velocidad de la

tobera, flujo de la solución y presión del compresor; elegir esos parámetros de forma apropiada garantiza una capa absorbidora que cumpla con las condiciones ya mencionadas de baja emitancia en el infrarrojo y alta absorción en el ultravioleta, dureza, adhesión, uniformidad y resistencia a los elementos de la naturaleza (radiación solar, viento, lluvia).

c. Formas habituales para la caracterización

En general, el estudio de las películas depositadas se divide en dos partes importantes: La caracterización de las propiedades mecánicas y la caracterización de las propiedades ópticas. En la parte mecánica se estudia el grosor y la uniformidad de la película mediante la caracterización estructural y morfológica, lo que está estrechamente relacionado con la composición elemental y los estados de oxidación de los materiales depositados; además, dentro de la caracterización de las propiedades mecánicas se incluyen unas pruebas que deben realizarse: adhesión (ASTM D3359-09)[17], dureza (ASTM D 3363-05)[18], y brillo (ASTM D4449-08)[19] y con una lámpara usando un light meter HD400). En la parte óptica se estudia la capacidad que tiene la película para absorber la radiación del sol, y qué cantidad de ella se pierde (ASTM E424-71)[20].

ETAPA 2: Elección de los materiales y parámetros de deposición

- a. **Precursores y solventes químicos (CERMET):** Los solventes y los precursores serán seleccionados de acuerdo a la bibliografía consultada y se escogerán sólo aquellas referencias de estudios que tengan alta selectividad solar, es decir, alta absorción solar y baja emitancia.
- b. **Operaciones, rangos e intervalos de funcionamiento del equipo para hacer las deposiciones:** Para depositar encontramos que los parámetros deben ser: número de secuencias, tiempo entre secuencias, temperatura del sustrato, distancia de la tobera al sustrato, velocidad de la tobera, y flujo y presión del compresor.

ETAPA 3: Caracterización de propiedades físicas de las películas delgadas

Previo a la fabricación del dispositivo que colecta la energía del sol, se deben estudiar la composición elemental, los estados de oxidación, las propiedades morfológicas y estructurales de los materiales usados con el propósito de encontrar las condiciones de síntesis que dieron lugar a materiales adecuados para su uso específico dentro del dispositivo que se querría construir (colector solar de baja temperatura). Para esto las muestras serán caracterizadas usando técnicas, las cuales se mencionan a continuación:

- a. **Ópticas:** Espectroscopia UV-VIS, Microscopía Infrarroja por Transformada de Fourier.
- b. **Morfológicas y estructurales:** Difracción de Rayos X (XDR), Microscopía electrónica de Barrido (SEM), Microscopía de Fuerza Atómica (AFM).
- c. **Intemperismo:** Humedad, Salinidad.

ETAPA 4: Entrega del proyecto

Finalmente se deberá entregar el proyecto, con sus respectivos resultados, a la Universidad Tecnológica de Pereira (Pereira, Colombia) y al Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV Sede Chihuahua, México).

7. Resultados esperados

Se espera la obtención de películas delgadas uniformes de materiales tipo CERMET depositadas por la técnica CVDA. Además, después de realizar la caracterización pertinente de las propiedades ópticas, mecánicas y térmicas, se espera que los materiales depositados presenten baja emitancia y alta absorción del espectro solar para que las películas delgadas puedan ser implementadas como absorbentes en colectores solares.

8. Resultados obtenidos

En este momento se presentan los resultados de las primeras etapas del proyecto:

- a. Los artículos base para el proyecto fueron decididos:

<i>Artículo</i>	<i>Nombre del artículo</i>
1	Copper Cermets used as Selective Coatings for Flat Plate Solar Collectors [21]
2	Optical Properties of Ni/NiOx as Infiltration Agent in Cermet Solar Ir Absorber [22]
3	Synthesis of alumina thin films by spray pyrolysis [23]
4	Solar Selective Coatings Based on Nickel Oxide Obtained via Spray Pyrolysis [24]

Tabla 1. Artículos base

- b. En la **tabla 2** se muestran los parámetros elegidos para realizar la CVDA, ellos fueron escogidos basándonos en rangos de deposiciones conocidas

Parámetro	Mínimo	Máximo
Número de secuencias	30	60
Tiempo entre secuencias [s]	30	70
Temperatura del sustrato [°C]	200	500
Distancia Tobera-Sustrato [mm]	2	70
Velocidad de la tobera [cm/s]	6.6×10^{-3}	1×10^{-2}
Flujo del compresor [L/min]	0.003	8
Presión Compresor [MPa]	0,12	0,28

Tabla 2. Parámetros de deposición para las películas delgadas de CERMET

9. Conclusiones

Se han seleccionado los rangos de los parámetros dentro de los cuales se planea realizar las deposiciones y obtener recubrimientos uniformes. Igualmente se han elegido algunos de los mejores artículos encontrados en la revisión bibliográfica sobre la deposición y caracterización de materiales CERMET donde se obtuvieron resultados satisfactorios en términos de la selectividad solar de las películas delgadas depositadas.

El proyecto en curso presenta pertinencia dentro del entorno investigativo en el campo de la tecnología solar ya que de llegar a cumplir todos los objetivos planteados se obtendrá un aporte importante que permitirá construir colectores solares eficientes.

10. Impacto

Durante los últimos años se ha notado el constante incremento en el uso de las energías alternativas para suplir necesidades básicas que son usualmente mitigadas mediante fuentes de energías no renovables. En Colombia aún existen muchas familias que dependen de la combustión de biomasa (madera o leña) para cocinar sus alimentos, calentar agua y realizar diversas labores domésticas. Según *Renewables 2016: Global status report* [25] la cifra de personas que aún depende de la biomasa es de un 7% lo que lleva a pensar que sería de gran impacto para muchas de esas familias el poder implementar colectores solares que les permitieran tener agua caliente sin necesidad de generar CO₂ u otros contaminantes en el proceso de obtenerla. Según [25] el incremento de instalaciones de colectores solares hasta el año 2012, representado por la línea de color azul, donde se ha alcanzado una capacidad mundial de obtención de agua caliente mediante dichos dispositivos hasta los 250 GW.

Teniendo en cuenta que para el año 2012 se dejaron de emplear más de 250 GW en el calentamiento de agua, o sea que se dejó de quemar algún tipo de combustible o se dejó de emplear electricidad, y que la vida útil de un colector solar puede llegar hasta los 20 años, la reducción de CO₂ o de otros gases contaminantes fue significativa. O en el caso de que haya sido la electricidad la fuente de energía reemplazada por los colectores solares, se ha hecho un ahorro económico que a largo plazo tendrá un impacto beneficioso para todos aquellos que están haciendo uso de éstos dispositivos.

11. Bibliografía

[1] Situación actual de la energía solar fotovoltaica en el mundo según el Plan de Energías Renovables PER 2011-2020", Suelosolar.com, 2017. [Online]. Available: <http://www.suelosolar.com/newsolares/newsol.asp?id=6209>. [Accessed: 21- Mar- 2017].

[2] Sin, S. (n.d.). técnicas de depósito y caracterización de, (Cvd), 6–22.

[3] Cao, Feng, Kenneth McEnaney, Gang Chen, and Zhifeng Ren. "A Review of Cermet-Based Spectrally Selective Solar Absorbers." *Energy Environ. Sci.* 7, no. 5 (2014): 1615

[4] Moncada, M. L. T., Muñoz, B. C., Yoshida, M. M., & Rodríguez, R. D. (2014). Comparative experimental study of new absorbent surface coatings for flat plate solar collectors. *Energy Procedia*, 57, 2131–2138. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.179>

[6] "Energía solar térmica vs fotovoltaica", *Energías Renovables*, 2017. [Online]. Available: <http://www.energiassenovablesinfo.com/solar/solar-termica-vs-fotovoltaica/>. [11- Mar- 2017].

[7] "Innovation in flat solar thermal collectors: A review of the last ten years' experimental results", *Sciencedirect.com*, 2017. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115015257>. [Accessed: 13- Mar- 2017].

- [8]X. Xinjian, Y. Lei, Z. Xiaosong and P. Donggen, "Review on the Development of Flat-Plate Solar Collector and its Building-Integrated Designing", *Proceedings of ISES World Congress 2007 (Vol. I – Vol. V)*, pp. 623-626, 2008.
- [9]Dudita, M., Isac, L., & Duta, A. (2012). Influence of solvents on properties of solar selective coatings obtained by spray pyrolysis. *Bulletin of Materials Science*, 35(6), 997–1002. <https://doi.org/10.1007/s12034-012-0381-8>
- [10] D. Office, "Explained: chemical vapor deposition", *MIT News*, 2017. [Online]. Available: <http://news.mit.edu/2015/explained-chemical-vapor-deposition-0619>. [Accessed: 16- Mar- 2017].
- [11]Monroy Jaramillo, L. B. (2009). Producción y caracterización de recubrimientos del sistema Y-Ba-Cu-O producidos por medio de la técnica de rocío pirolítico, 108
- [12]Cao, F., McEnaney, K., Chen, G., & Ren, Z. (2014). A review of cermet-based spectrally selective solar absorbers. *Energy & Environmental Science*, 7(5), 1615. <https://doi.org/10.1039/c3ee43825b>
- [13] Mihaela Voinea, Cristina Bogatu, Gabrielle Charlotte Chitanu , Anca Duta. (2010). Copper cermets used as selective coatings for flat plate solar collectors Cited by : 2 Pages : Related Records :, 40(6), 4–5.
- [14]Ienei, E., Isac, L., Cazan, C., & Duta, A. (2010). Characterization of Al/Al₂O₃/NiO_x solar absorber obtained by spray pyrolysis. *Solid State Sciences*, 12(11), 1894–1897. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2010.05.028>
- [15] Solar Spectral Irradiance: Air Mass 1.5", *Rredc.nrel.gov*, 2017. [Online]. Available: <http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/am1.5/>. [Accessed: 16- Mar- 2017].
- [16] Perednis, Dainius; Gauckler, Ludwig J. Thin film deposition using spray pyrolysis. *Journal of electroceramics*, 2005, vol. 14, no 2, p. 103-111.
- [17] ASTM D3359, Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test1. <http://www.astm.org/> (consulta: 15/03/2017).
- [18] ASTM D 3363-05 Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test. <http://www.astm.org/> (consulta: 15/3/2017).
- [19] ASTM D4449-08 Standard Test Method for Visual Evaluation of Gloss Differences Between Surfaces of Similar Appearance <http://www.astm.org/> (consulta: 21/03/2017)
- [20] ASTM E424-71 Standard Test Methods for Solar Energy Transmittance and Reflectance (Terrestrial) of Sheet Materials. <http://www.astm.org/> (consulta: 21/3/2017).
- [21] Databases, A. L. L. (2010). Copper cermets used as selective coatings for flat plate solar collectors Cited by : 2 Pages : Related Records :, 40(6), 4–5.
- [22] Purghel, E., Voinea, M., Isac, L., & Duta, A. (2007). Optical Properties of Ni / NiO_x as Infiltration Agent in Cermet Solar IR Absorber, 18–20.
- [23] Ienei, E., Isac, L., & Duță, A. (2010). Synthesis of alumina thin films by spray pyrolysis. *Revue Roumaine de Chimie*, 55(3), 161–165.
- [24] Voinea, M., Ienei, E., Bogatu, C., & Duta, A. (2009). Solar Selective Coatings Based on Nickel Oxide Obtained via Spray Pyrolysis. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 9(7), 4279–4284. <https://doi.org/10.1166/jnn.2009.M46>
- [25]"Home - Wuxi Wankang Solar Water Heaters Co. Ltd.", Wuxi Wankang Solar Water Heaters Co. Ltd., 2017. [Online]. Available: <http://www.wksolar.com>. [Accessed: 03- Apr- 2017].
- [26]Sawin, J. L., Seyboth, K., & Sverrisson, F. (2016). Renewables 2016: Global Status Report. <https://doi.org/ISBN 978-3-9818107-0-7>

12. Ficha Técnica

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	Deposición y Caracterización de Películas delgadas CERMET por medio de la técnica CVD-AA con aplicaciones en tecnología solar	
Autores del Proyecto		
Ponente (1)	Sarah Hincapié Úsuga	
Documento de Identidad	1088326007	
Email	shusuga@utp.edu.co	
Ponente (2)	Bayron Esteban Rios Bravo	
Documento de Identidad	1089747289	
Email	esrios@utp.edu.co	
Teléfonos de Contacto	3146530597	
Nivel de formación de los estudiantes ponentes (Semestre)	Décimo semestre	
MODALIDAD (seleccionar una- Marque con una x)	PONENCIA	
	Investigación en Curso	X
	Investigación Terminada	
	PÓSTER	
ÁREA DE LA INVESTIGACIÓN (seleccionar una- Marque con una x)	Propuesta de Investigación	
	Ciencias Naturales	
	Ingenierías y Tecnologías	X
	Ciencias Médicas y de la Salud	
	Ciencias Agrícolas	
	Ciencias Sociales	
	Humanidades	
Artes, arquitectura y diseño		