

Desarrollo de un absorbedor plasmónico: evaluación como material termosolar

Development of a plasmonic absorber: evaluation as a thermosolar material

E. C. Martínez-Zúñiga ^{a,b*}, A. R. Vilchis-Néstor ^b, M. A. Camacho-López ^c, O. F. Olea-Mejía ^b, M. Estrada-Flores ^d

^a Posgrado en Ciencia de Materiales, Facultad de Química, Universidad Autónoma del Estado de México, Paseo Colón y Tolloacan, 50110, Toluca, México.

^b Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM, Km 14.5 Carretera Toluca-Atacomulco, 50925 Toluca, Estado de México, México.

^c Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados, Sección de Espectroscopia Raman y Procesamiento de Materiales por Laser, Facultad de Química-UAEMex, Edificio D, Unidad Rosedal, Km 14.5 Carretera Toluca-Atacomulco, 50925, Toluca, Estado de México, México.

^d Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, Departamento de Ingeniería Química Industrial, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Laboratorio de Investigación en Físicoquímica y Materiales, Ciudad de México, 07738, México.

Resumen

El desarrollo de nuevos materiales que tengan la capacidad de absorber un amplio rango de longitud de onda, del espectro electromagnético, nos permitirá mejorar la eficiencia de las celdas termosolares. El uso de absorbedores plasmónicos ha permitido mejorar la captación de la radiación solar y así poder transformar la luz absorbida en energía eléctrica o térmica. En este trabajo abordaremos el efecto fototérmico que presentan los materiales plasmónicos, como el oro, plata y cobre, para transformar la radiación solar en energía térmica como consecuencia de la resonancia del plasmón superficial y la generación de puntos calientes entre nanopartículas, es por eso que obtendremos por el método de biosíntesis diferentes tamaños y morfologías de nanopartículas de oro, las cuales serán depositadas sobre un sustrato de aluminio poroso, para poder aumentar la interacción que presentan este tipo de materiales plasmónicos con la radiación solar. El diseño propuesto de Absorbedor Plasmónico se evaluó con una lámpara de espectro continuo de 420 a 800 nm obteniendo una diferencia de temperatura entre 2.0 y 2.5°C, y en condiciones ambientales se obtuvo una diferencia de temperatura de 20.0 a 25.0°C.

Palabras Clave:

Absorbedor, Nanopartículas, Termosolar, Plasmónicos.

Abstract

The development of new materials that have the ability to absorb a wide range of wavelengths, of the electromagnetic spectrum, will allow us to improve the efficiency of solar thermal cells. The use of plasmonic absorbers has made it possible to improve the capture of solar radiation and thus be able to transform the absorbed light into electrical or thermal energy. In this work we will address the photothermal effect of plasmonic materials, such as gold, silver and copper, to transform solar radiation into thermal energy as a consequence of surface plasmon resonance and the generation of hot spots between nanoparticles, that is why We will obtain by the biosynthesis method different sizes and morphologies of gold nanoparticles, which will be deposited on a porous aluminum substrate, in order to increase the interaction that this type of plasmonic materials have with solar radiation. The proposed design of the Plasmonic Absorber was evaluated with a continuous spectrum lamp from 420 to 800 nm, obtaining a temperature difference between 2.0 and 2.5 ° C, and under ambient conditions a temperature difference of 20.0 to 25.0 ° C was obtained.

Keywords:

Absorber, Nanoparticle, Thermosolar, Plasmonic.

1. Introducción

El obtener energía de fuentes renovables se ha incrementado en las últimas décadas debido a los problemas ambientales que se tienen en el mundo y una de esas fuentes renovables es el Sol, es por eso que los nuevos desarrollos de materiales se enfocan en mejorar los procesos de absorción del espectro solar y así mejorar

la eficiencia en los módulos termosolares y celdas fotovoltaicas. (Santiago Rodríguez Suárez, 2017). Uno de estos nuevos materiales son los Absorbedores Plasmónicos que utilizan la resonancia del plasmón superficial de las nanopartículas, para tener una mejor absorción de la radiación solar en el rango visible y pueden ser de dos tipos; absorbentes de banda ancha y absorbentes de banda estrecha (Lei Lei, 2018).

*Autor para la correspondencia: emartinez811@alumno.uaemex.mx

Correo electrónico: emartinez811@alumno.uaemex.mx (Eduardo C. Martínez-Zúñiga) arvilchisn@uaemex.mx (Alfredo R. Vilchis-Néstor), macamachol@uaemex.mx (Marco A. Camacho-López), ofoleam@uaemex.mx (Oscar F. Olea-Mejía). mestradaf0400@ipn.mx (Miriam Estrada Flores)

1.1. Absorbedores Plasmónicos

Actualmente los avances en el estudio de la plasmónica ha estimulado el desarrollo de nuevos materiales nanoestructurados, los cuales han sido diseñados con diferentes formas y utilizando diferentes materiales, por ejemplo nanopartículas de oro, plata y cobre, los cuales han demostrado tener una mejor absorción del espectro electromagnético, pero estas nanoestructuras metálicas son costosas y tienen un rendimiento bajo y su proceso de fabricación a gran escala suele ser complicado (Luwei Zhou, 2021).

Los diseños de absorción resonante que se han desarrollado con nanoestructuras plasmónicas permiten absorber la luz en un rango de longitud de onda estrecha, por lo que el reto de estos diseños es ampliar el rango de longitud de onda de estos materiales térmicos (Koray Aydin, 2011). Debido a lo anterior el poder tener materiales que tengan una absorción altamente eficiente se ha basado en dos parámetros, uno de ellos es la morfología de las nanopartículas, que permiten una mejor absorción del espectro electromagnético y las plantillas porosas o nanoporosas que proporcionan una reflexión eficiente y mejoran los acoplamientos de los procesos ópticos (Zhongming Huang, 2020). Debido a estas características los absorbentes plasmónicos son complejos en sus diseños y son costosos en su fabricación.

En este trabajo se desarrolla y evalúa la eficiencia un absorbente plasmónico de fácil fabricación y de bajo costo, que pueda absorber en la región visible e IR del espectro solar para mejorar la eficiencia en transformar esa energía absorbida en calor para que finalmente sea direccionado a un líquido transmisor de calor.

2. Metodología

El primer paso fue el diseño del soporte para el cual se utilizó aluminio anodizado, este fue obtenido por el método de anodizado de aluminio (Miriam Estrada-Flores, 2010), el cual consiste en limpiar la placa de 2.0 x 2.5 cm de aluminio comercial, con 2.0 ml de metanol y 2.0 ml de acetona, después un tratamiento con lijas del N° 200, 400 y 600, limpiando la placa con agua y metanol. Después en una celda electrolítica se hace pasar una corriente de 15 volts por un tiempo de 2.0 horas, usando 50 ml como electrolito ácido sulfúrico al 15%, transcurrido el tiempo se enjuaga con agua destilada y se deja secar.

Para la síntesis de nanopartículas de oro, se utilizó un método biológico usando los extractos acuosos de *Camellia sinensis* (Té verde) y *Citrus paradisi* (cascara de toronja). Se coloca 1.0 gr de *Camellia sinensis* (Nayely Torres-Gómez, 2020) en 100 ml de agua hirviendo y posteriormente se filtra y se deja enfriar, se toman 10 ml y con agitación constante se coloca gota a gota 5.0 ml de una solución de HAuCl_4 (10^{-3} M) y 0.5 ml de ácido ascórbico (10^{-3} M) y se deja en agitación por 5.0 minutos, observándose un cambio de coloración de café claro a violeta claro al finalizar la reacción, obteniendo morfologías poliedrales.

La segunda ruta de síntesis de nanopartículas de oro se utilizó la cascara de *Citrus paradisi*, en 100 ml de agua destilada se colocaron 10 gr de cascara y se llevó a ebullición por 5 minutos después se filtró y se dejó enfriar a temperatura ambiente, posteriormente se colocan 10 ml del extracto en un vaso de precipitado con agitación constante se colocaron 5.0 ml de una solución de HAuCl_4 (10^{-3} M) y 2.0 ml de ácido ascórbico (10^{-3} M), gota a gota, finalmente se dejó con agitación por 5.0 minutos, al

término de este tiempo se presentó un cambio de coloración de un solución café claro a un color azul, obteniendo morfologías tipo estrella.

Se realiza el diseño de absorbente plasmónico, el cual consistió en colocar las nanopartículas de oro, por goteo, sobre una lámina de aluminio anodizado poroso de 2.0 x 2.5 cm y un espesor de 0.1 mm, figura 1 (A y B)

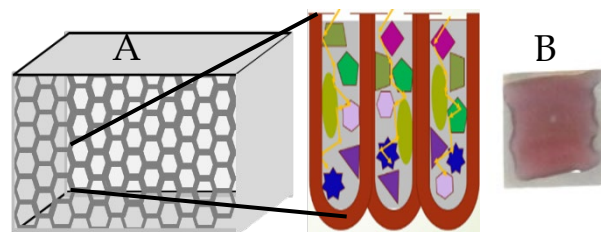


Figura 1. Diseño de Absorbente Plasmónico

El obtener tamaños y morfologías diversas de nanopartículas de oro, figura 2, permitirán la probabilidad de generar puntos calientes los cuales mejorarán la interacción con la luz y así aumentar su eficiencia en la transformación de esa energía en calor para un sistema termosolar. La caracterización se realizó por espectroscopia UV-Visible, Microscopia Electrónica de Transmisión y Microscopia Electrónica de Barrido.



Figura 2. Diseño esquemático de la interacción de la luz con las nanopartículas.

Se desarrolla en un sistema cerrado con una lámpara de espectro continuo de 420 a 800 nm, las características de la lámpara se mencionan a continuación:

Marca	TBTeek
Color	Sunlight Grow Light
Tiras de Luz LED	48 Chips cada tira
Potencia Nominal	20 volts
Longitud de Onda	420 – 800 nm

Esta fuente de luz permitirá medir la diferencia de temperatura entre la referencia (aluminio anodizado) y el absorbente plasmónico diseñado en este trabajo, figura 3. También se evaluará el diseño en condiciones ambientales, utilizando la radiación solar como fuente de luz, para observar el comportamiento del absorbente bajo estas condiciones. Las lecturas se tomaron de las 9:00 a 15:00 horas en Toluca, Estado de México, con las siguientes coordenadas Longitud: O 99°39'11.66" y Latitud. N 19°17'16.3"; y fueron realizadas los días: para el sistema poliedral 22, 28 y 30 de septiembre del 2020, y para el sistema tipo estrella los días 01, 06 y 13 de octubre del 2020 y para conocer que intensidad de radiación solar se tenía esos

días se consultó la página: <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/toluca-jose-maria.html>

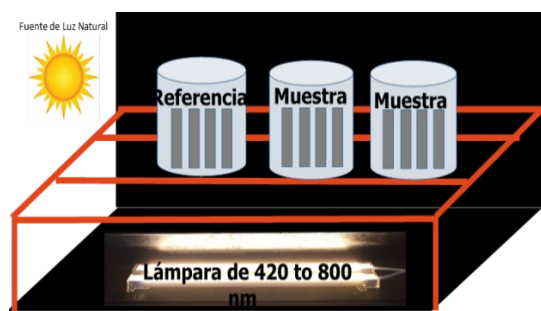


Figura 3. Sistema para medir la temperatura

3. Resultados

Se obtuvieron dos diferentes morfologías de nanopartículas de oro, utilizando *Camellia sinensis* se obtuvieron morfologías poliedrales y triangulares, con un tamaño promedio de 75 nm y utilizando la cascara de *Citrus paradisi* la morfología obtenida fue tipo estrella de un tamaño promedio de 72 nm. En la figura 4 se observan las micrografías obtenidas por Microscopía Electrónica de Transmisión de las nanopartículas de oro, obtenidas con *Camellia sinensis* y en la figura 5, las morfologías obtenidas con *Citrus paradisi* de las nanopartículas de oro.

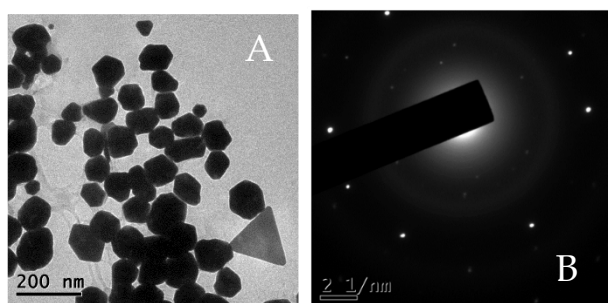


Figura 4. A) Micrografías de MET, B) Patrón de Difracción de Electrones de Área Selecta de nanopartículas de oro Síntesis con *Camellia sinensis*

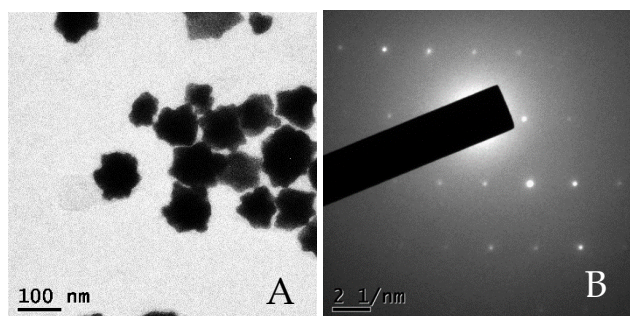


Figura 5. A) Micrografías de MET, B) Patrón de Difracción de Electrones de Área Selecta de nanopartículas de oro síntesis con cascara de *Citrus paradisi*.

Las micrografías obtenidas por SEM del soporte de aluminio anodizado, figura 6, se observa una superficie porosa en la cual se depositaran las nanopartículas obtenidas.

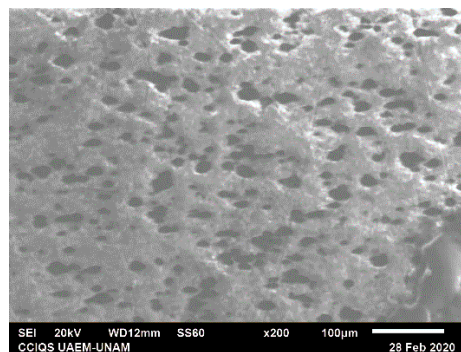


Figura 6. Micrografías de MEB del Aluminio Anodizado

Para evaluar el comportamiento del diseño de Absorbedor Plasmónico se propusieron dos sistemas de medición de temperatura, un sistema cerrado donde la fuente de luz fue una lámpara de 20 watts, de espectro continuo con una longitud de onda de 420–800 nm, figura 7: A y B, y una segunda prueba en condiciones ambientales.

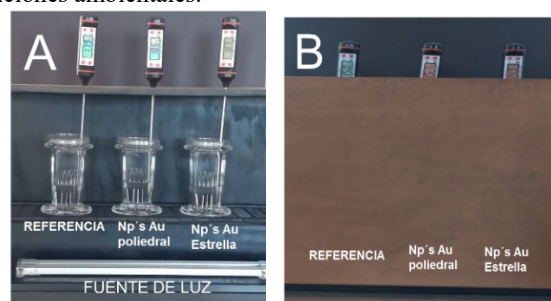


Figura 7. (A y B) Sistema cerrado con lámpara de 20 watts de espectro continuo.

Para medir el comportamiento de la propuesta de Absorbedor Plasmónico se colocaran cuatro láminas de aluminio anodizado con nanopartículas, de forma paralela y 20 ml de agua, como se muestra en figura 8. Después se colocaron dentro de una una caja de madera de color negro con la fuente de luz en la parte inferior. (Ver figura 7 A y B)

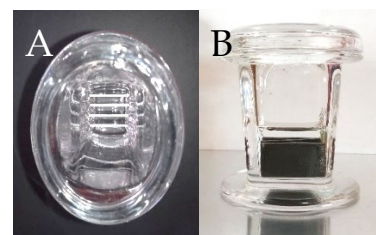


Figura 8. (A y B) Diseño para el acomodo de las láminas de aluminio anodizado

En la tabla 1, se registran los resultados obtenidos, así como el promedio de las cinco días, de la medición de temperatura de las láminas de aluminio anodizado con nanopartículas de oro de forma poliedral Vs la referencia (Aluminio anodizado). Las mediciones fueron realizadas en un tiempo cero donde la temperatura del líquido utilizado era similar, después se colocan las láminas de aluminio dentro del recipiente y se colocan dentro de la caja con luz de artificial o en las condiciones ambientales. La temperatura se mide cada 30 minutos hasta 360 minutos (dando un total de 12 lecturas por sistema en un experimento), después se retira las láminas de aluminio con las nanopartículas de oro del recipiente. La misma metodología se repite cinco veces en el caso de la lámpara y tres veces para el caso de los experimentos realizados bajo condiciones ambientales, en la parte

superior de color azul se indican los resultados de temperatura de la referencia y la parte inferior de color negro los resultados de temperatura del absorbedor propuesto.

Tabla 1: Resultados de Temperatura de NP's oro poliedral

Temperatura (°C)						
Tiempo (Min)	Ref Lectura A	Ref Lectura B	Ref Lectura C	Ref Lectura D	Ref Lectura E	Promedio
0	19.0	15.0	16.3	15.9	15.6	16.4
	19.0	15.1	16.3	16.2	15.7	16.5
30	20.3	16.7	17.9	18.1	17.3	18.1
	21.0	17.6	18.9	19.5	18.3	19.1
60	21.0	18.4	19.5	19.3	18.9	19.4
	21.9	19.9	21.1	21.1	20.8	21.0
90	21.4	19.4	20.7	20.3	19.5	20.3
	22.4	21.1	22.6	22.3	21.6	22.0
120	21.7	20.1	21.7	20.9	21.1	21.1
	22.8	21.9	23.7	23.1	23.3	23.0
150	22.3	20.7	22.5	21.4	21.7	21.7
	23.4	22.5	24.5	23.5	23.9	23.6
180	22.7	21.4	23.3	21.9	22.3	22.3
	23.8	23.2	25.5	23.9	24.6	24.2
210	23.3	21.8	23.8	22.5	23.1	22.9
	24.4	23.6	25.9	24.5	25.3	24.7
240	23.8	22.4	24.3	22.9	23.7	23.4
	25.0	24.2	26.5	24.9	25.9	25.3
270	24.3	23.1	25.1	23.5	24.5	24.1
	25.6	24.8	27.3	25.5	26.7	26.0
300	24.9	23.8	25.7	24.0	25.2	24.7
	26.1	25.6	27.9	26.0	27.5	26.6
330	25.3	24.2	26.5	24.6	26.0	25.3
	26.6	26.0	28.6	26.6	28.3	27.2
360	25.8	24.9	27.3	25.3	26.8	26.0
	27.0	26.7	29.4	27.3	29.1	27.9

*Ref= Aluminio Anodizado

*Lectura = Aluminio Anodizado con Nanopartículas de Oro

En la figura 9, se observa la gráfica del comportamiento de las nanopartículas de oro de forma poliedral sobre el aluminio anodizado, dando como resultado una diferencia de temperatura de 1.8°C en promedio durante las cinco lecturas que se registraron lo largo de 360 minutos. Se grafica los promedio de estas cinco lecturas.

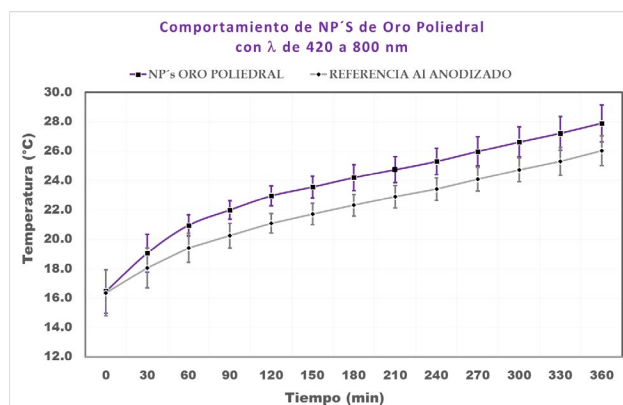


Figura 9. Gráfica de Temperatura de Aluminio Anodizado y Nanopartículas de Oro Poliedral

Las lecturas de temperatura de la nanopartículas de oro con morfología de estrella se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Resultados de Temperatura de NP's oro tipo estrella

Temperatura (°C)						
Tiempo (Min)	Ref Lectura A	Ref Lectura B	Ref Lectura C	Ref Lectura D	Ref Lectura E	Promedio
0	19.0	15.0	16.3	15.9	15.6	16.4
	19.0	14.9	16.3	15.9	15.6	16.3
30	20.3	16.7	17.9	18.1	17.3	18.1
	20.9	17.5	18.9	19.0	18.0	18.9
60	21.0	18.4	19.5	19.3	18.9	19.4
	22.3	20.1	21.2	20.8	20.3	20.9
90	21.4	19.4	20.7	20.3	19.5	20.3
	23.1	21.4	22.6	22.0	21.0	22.0
120	21.7	20.1	21.7	20.9	21.1	21.1
	23.7	22.2	23.6	22.7	22.8	23.0
150	22.3	20.7	22.5	21.4	21.7	21.7
	24.5	22.8	24.3	23.1	23.5	23.6
180	22.7	21.4	23.3	21.9	22.3	22.3
	25.1	23.5	25.3	23.7	24.0	24.3
210	23.3	21.8	23.8	22.5	23.1	22.9
	25.9	23.9	25.7	24.2	24.8	24.9
240	23.8	22.4	24.3	22.9	23.7	23.4
	26.5	24.6	26.4	24.7	25.5	25.5
270	24.3	23.1	25.1	23.5	24.5	24.1
	27.1	25.3	27.2	25.2	26.3	26.2
300	24.9	23.8	25.7	24.0	25.2	24.7
	27.6	25.9	27.7	25.8	26.9	26.8
330	25.3	24.2	26.5	24.6	26.0	25.3
	28.0	26.3	28.6	26.4	27.8	27.4
360	25.8	24.9	27.3	25.3	26.8	26.0
	28.5	27	29.5	27.1	28.6	28.1

*Ref= Aluminio Anodizado

*Lectura = Aluminio Anodizado con Nanopartículas de Oro

Para esta segunda propuesta de Absorbedor donde se depositaron las NP's de oro tipo estrella, se obtiene una diferencia de temperatura de 2.0°C en promedio durante las cinco lecturas y un tiempo de 360 min. En la figura 10, se observa el comportamiento de temperatura, de esta morfología de nanopartículas, a lo largo del tiempo. Se grafican el promedio de estas cinco lecturas

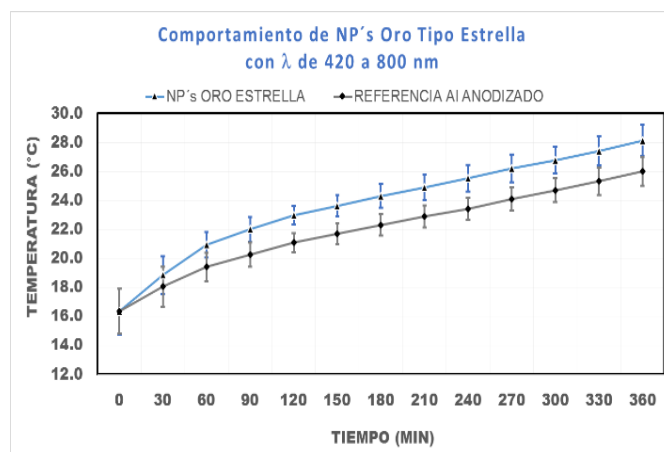


Figura 10. Gráfica de Temperatura de Aluminio Anodizado y Nanopartículas de Oro Tipo Estrella

Para ambas morfologías propuestas de nanopartículas de oro, en un sistema cerrado, los resultados indican una diferencia de temperatura versus la referencia (aluminio anodizado),

La segunda etapa de este trabajo consistió en la evaluación del Absorbedor Plasmónico en condiciones ambientales, se realizó el mismo procedimiento anteriormente descrito y se colocaron las

propuestas a la intemperie en condiciones ambientales propias del día de 9:00 a 15:00 horas, por tres diferentes días. Las lecturas de temperatura se muestran en la tabla 3, para el sistema con nanopartículas de oro poliedrales.

Tabla 3: Resultados de Temperatura de NP's oro poliedral

Tiempo (Min)	Temperatura (°C)			Promedio
	Ref	Ref	Ref	
	Lectura A	Lectura B	Lectura C	
0	18	17	18	17.6
	18	17	18	17.6
30	22	18	25	21.6
	29	18	40	29.0
60	35	18	30	27.6
	71	27	47	48.3
90	40	27	29	32.0
	77	40	35	50.6
120	37	31	30	32.6
	64	54	39	52.3
150	38	32	28	32.6
	70	45	43	52.6
180	40	31	29	33.3
	73	47	42	54.0
210	38	28	20	28.6
	68	53	30	50.3
240	33	29	20	29.3
	53	47	27	42.3
270	26	27	20	24.3
	30	36	30	32.0
300	25	28	24	25.6
	30	40	31	33.6
330	22	33	22	25.6
	28	48	36	37.3
360	20	25	19	21.3
	25	39	29	31.0

*Ref = Aluminio Anodizado

*Lectura = Aluminio Anodizado con Nanopartículas de Oro

En la figura 11, se muestra la gráfica del promedio de las lecturas anteriores y el comportamiento de temperatura de las NP's de oro poliedral bajo radiación del espectro solar, el tiempo que se expuso las propuestas de absorbedor fueron de 360 minutos (de 9:00 a 15:00 hrs). La diferencia de temperatura de este sistema es de 20° a 25°C, en las horas de más intensidad solar en el intervalo de tiempo de 90 a 240 minutos (entre las 11:00 - 13:00 horas aprox.). También se observa que en los primeros 30 minutos se empieza a ver una diferencia temperatura entre la referencia que es aluminio anodizado y la propuesta donde al aluminio anodizado se le depositaron las nanopartículas de oro poliedrales, mejorando la absorción de la luz incidente por la característica que tienen estos nanomateriales en generar un plasmón localizado y obteniendo puntos calientes entre dos nanopartículas observándose un aumento de temperatura, así mismo el diseño del aluminio poroso favorece la reflexión del haz incidente.

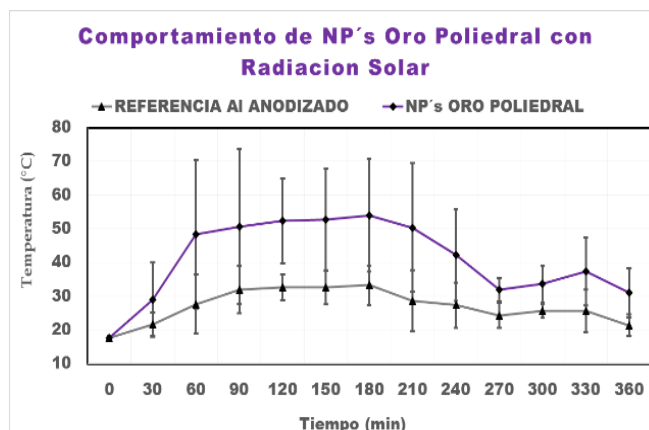


Figura 11. Gráfica de Temperatura de Aluminio Anodizado y Nanopartículas de Oro Poliedral

El comportamiento que presentaron las nanopartículas de oro con morfología tipo estrella depositada en el aluminio anodizado se detalla en la tabla 4, donde se muestran las lecturas de temperatura de este absorbedor versus la referencia (aluminio anodizado). Las lecturas fueron registradas cada 30 minutos por 360 minutos (de 9:00 a 15:00 horas aprox.), durante tres días diferentes.

Tabla 4: Resultados de Temperatura de NP's oro tipo estrella

Tiempo (Min)	Temperatura (°C)			Promedio
	Ref	Ref	Ref	
	Lectura A	Lectura B	Lectura C	
0	19	18	19	18.6
	19	18	19	18.6
30	18	27	33	26
	26	48	46	40.0
60	25	35	39	33.0
	43	57	50	50.0
90	31	36	38	35.0
	49	46	50	48.3
120	30	36	39	35.0
	45	57	53	47.0
150	31	35	39	35.0
	50	65	55	56.6
180	25	35	39	33.0
	41	48	62	50.3
210	24	35	38	25.6
	40	41	51	44.0
240	28	34	35	32.3
	46	46	45	45.6
270	26	37	31	31.3
	40	47	40	43.0
300	20	37	30	29.0
	35	43	42	40.0
330	18	38	33	29.6
	24	50	39	37.6
360	18	39	32	29.6
	25	53	39	39.0

*Ref = Aluminio Anodizado

*Lectura = Aluminio Anodizado con Nanopartículas de Oro

En la figura 12, se observa el gráfico del promedio de las lecturas anteriores y del comportamiento de la temperatura de las nanopartículas de oro tipo estrella, con esta propuesta de absorbedor se alcanzan diferencias de temperatura de 15° a 20°C. La diferencia temperatura más alta se encuentra a los 150 minutos

(entre las 11:00–12:00 horas) que fue de 35°C entre la referencia y el aluminio anodizado con nanopartículas de oro tipo estrella.

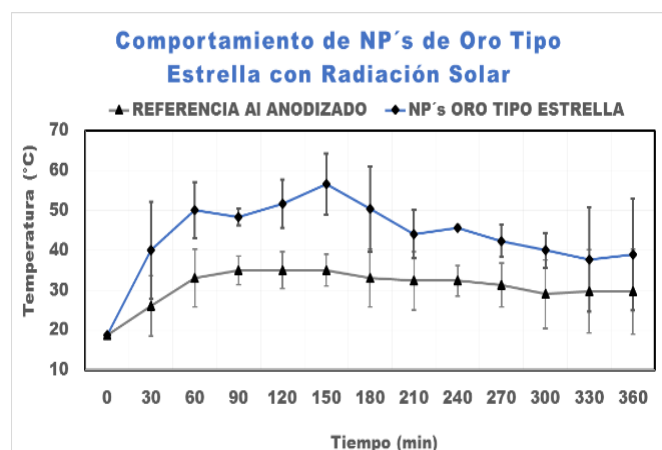


Figura 12. Gráfica de Temperatura de Aluminio Anodizado y Nanopartículas de Oro Tipo Estrella

Con este desarrollo de experimentos se observa que si existe una diferencia significativa en el aumento de temperatura, entre la referencia (aluminio anodizado) Vs aluminio anodizado con nanopartículas de oro, teniendo un mejor comportamiento las nanopartículas de forma poliedral a lo largo del tiempo (entre 60 y 120 minutos), debido a su morfología se observa una mejor interacción de la luz incidente y el efecto plasmónico que presentan este tipo de nanoestructuras y con la interacción del aluminio poroso aumento la posibilidad de generar los puntos calientes y así podemos observar un aumento de temperatura en el líquido utilizado.

Un tipo de Absorbedor Plasmónico fue reportado por Lin Zhou, et. al. (Lin Zhou, 2016) en este trabajo las nanopartículas de oro fueron obtenidas por un proceso de deposición física de vapor sobre un sustrato de alumina nanoporoso teniendo una absorbancia del ~99 % en las longitudes de onda de 400 nm a 10 μ m. En contraste con el presente trabajo las nanopartículas de oro fueron sintetizadas por métodos biológicos, es la primera vez que nanopartículas biogénicas en el desarrollo de un Absorbedor Plasmónico y donde se aprovecha la polidispersidad que se obtiene que se obtiene al utilizar una ruta verde para obtener nanopartículas metálicas. El soporte utilizado fue obtenido por el proceso de anodizado de aluminio generando un material con una superficie porosa. Tanto que aunque no se obtuvieron resultados comparados con el realizado por Lin Zhou, si se desarrolló e implemento una nueva forma de medir este tipo de nanoestructuras en condiciones ambientales.

4. Conclusiones

Debido a la polidispersidad que se tiene con las nanopartículas de morfología poliedral podría generarse una mejor distribución en el sustrato y así generar los puntos calientes entre dos nanopartículas y con este acomodo se podría tener una mejor reflexión de la luz y así tener un aumento de temperatura a la intemperie.

El depositar nanopartículas de oro con morfologías diferentes sobre aluminio anodizado, aumenta su eficiencia de absorción de

la luz y su capacidad de transferir esa energía al medio líquido circundante, que en este caso fue agua. Con estos resultados podemos considerar que este Absorbedor Plasmónico se podría utilizar como material termosolar para incrementar la eficiencia de estos sistemas y así poder aprovechar mejor la radiación solar que llega a la tierra.

Se propone mejorar el sistema desarrollado en este trabajo en cuanto a tener nanopartículas de menor tamaño y un soporte nanoporoso que pueda mejorar el rango de absorción del espectro electromagnético en la parte de infrarrojo o ultravioleta y así aumentar la eficiencia del sistema.

Agradecimientos

El autor Eduardo C. Martínez Z. agradece al CONACyT por la beca de estudios de posgrado otorgada con número 751858.

Esta investigación contó con el apoyo financiero de la Beca CONACyT No. 280518 y la Beca A1-S-34533.

Este trabajo ha sido realizado en las instalaciones del Centro Conjunto de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM.

Referencias

- M. Estrada-Flores, C. Reza-San Germán, (2010), Síntesis y caracterización de películas nanoporosas de Al_2O_3 , *Superficies y Vacío*, 23 (2) 1-5.
DOI: 942415092001
- Koray Aydin, Vivian E. Ferry, Ryan M. Briggs y Harry A. Atwater., (2011), Broadband polarization-independent resonant light absorption using ultrathin plasmonic super absorbers, *Nature Communications*, 2, 1-7,
DOI: 10.1038/ncomms1528.
- Lei Lei, Shun Li, Haixuan Huang, Keyu Tao, Ping Xu. (2018), Ultra-broadband absorber from visible to near-infrared using plasmonic metamaterial. *Optics Express*, 26, 1-7
DOI: 10.1364/OE.26.005686
- Lin Zhou, Yingling Tan, Dengxin Ji, Bin Zhu, Pei Zhang, Jun Xu, Qiaoqiang Gan, Zongfu Yu, Jia Zhu1, (2016), Self-assembly of highly efficient, broadband plasmonic absorbers for solar steam generation. *Sci. Adv.* 1 – 8
DOI: 10.1126/sciadv.1501227
- Luwei Zhou, Cheng Zhang, Liuqing Li, Tingting Liu, Ke Li, Shaolong Wu, Xiaofeng Li. (2021), Nanobowls-assisted broadband absorber for unbiased Si-based infrared photodetection. *Optics Express*, 29, 1-12
DOI: 10.1364/OE.423897
- Nayely Torres-Gómez, Rodolfo D. Ávila-Avilés, Alfredo R. Vilchis-Néstor, (2020), Biosynthesis and characterization of nanostructures by electron microscopy, *Mundo Nano*, 13(25), 29-43.
DOI: 10.22201/ceiich.24485691e.2020.25.69637
- Santiago Rodríguez Suárez, Emmanuel Espinoza Navarrete; GIZ: Joscha Rosenbuch, Hermilio O. Ortega Navarro; IER: Dr. Manuel Martínez Fernández, Dra. Karla G. Cedano Villavicencio, Miriam M. Armenta. (2017), *LA INDUSTRIA SOLAR FOTOVOLTAICA Y FOTOTÉRMICA EN MÉXICO*, ProMéxico, Primera Edición, ISBN: 978-607-97294-8-6, pp. 27-30.
- Zhongming Huang, Shengliang Li, Xiao Cui, Yingpeng Wan, Yafang Xiao, Shuang Tian, Hui Wang, Xiaozhen Li, Qi Zhao and Chun-Sing Lee. (2020), "Broadband aggregation-independent plasmonic absorber for highly efficient solar steam generation", *J. Mater. Chem.*, 8, 10742-10746.
DOI: 10.1039/x0xx00000x